



Piet Lijnse

Omzien in verwarring

Een persoonlijke terugblik
op 40 jaar werken in de
natuurkundedidactiek

Omzien in verwarring

*Een persoonlijke terugblik op 40 jaar werken
in de natuurkundededidactiek*

Piet Lijnse

*Voor Yvonne,
in liefdevolle herinnering, zonder wier jarenlange steun ik nooit
was geweest, wie ik ben geworden.*

*Voor Herman,
zonder wiens jarenlange steun ik nooit was geworden, wat ik
ben geweest.*

Lijnse, P.L.

Omzien in verwarring. Een persoonlijke terugblik op 40 jaar werken in de natuurkundedidactiek – Utrecht: Freudenthal Institute for Science and Mathematics Education (FIsmE), Faculty of Science, Utrecht University / FIsmE Scientific Library (formerly published as CD- β Scientific Library), no. 85, 2014

ISBN	978-90-70786-25-0
Kernwoorden	Natuurkundedidactiek, onderwijsbeleid, curriculumontwikkeling, vakdidactisch onderzoek, voortgezet onderwijs
Omslagontwerp	Vormgeving Faculteit Bètawetenschappen
Omslagfoto	Fridolin van der Lecq
Redactie en vormgeving	Koos Kortland, Nathalie Kuijpers en Kevin de Jong
Drukwerk	All Print, Utrecht

De uitgave van dit boek is mogelijk gemaakt door financiële ondersteuning vanuit het FIsmE en de Stichting Werkgroep Natuurkunde Didactiek (WND)

© 2014 P.L. Lijnse

Inhoud

0	Proloog	9
0.1	Waarom deze studie?	9
0.2	Waarom deze inhoud?	9
0.3	Waarom dit boek?	11
Deel 1 Een persoonlijke introductie		13
1	Relaas van een langer lerende...	15
1.1	Inleiding	15
1.2	(Reflectie op) eigen ervaring	15
1.2.1	Als leerling...	15
1.2.2	... als student en promovendus	19
1.2.3	... en als natuurkunde-didacticus	24
1.3	En toch: een stukje van de canon?	37
1.3.1	Welk stukje?	37
1.3.2	Hoe vormgegeven?	38
Deel 2 Beleidsgeïnduceerde vernieuwing van het natuurkunde- onderwijs: over het wat en het waarom		39
2	Panta Rhei, of verandering is van alle tijden	41
2.0	Doel	41
2.1	Inleiding: van NINA tot Fokker	41
2.2	Het verschijnsel 'school' door de jaren heen	44
2.3	Verder over natuurkundeonderwijs	50
2.4	Achtergronden van de 'curriculum wave'	53
2.5	De eerste golf: de structuur-van-de-discipline	57
2.6	... en het proces van de discipline	61
2.7	Een tweede golf: doelverbreding en leerlinggerichtheid	64
2.8	Terug naar Nederlandse ontwikkelingen	66
2.9	Afsluiting	80
3	De discussies van vandaag: over 'Scientific Literacy' en ANW	83
3.0	Doel	83
3.1	Welke discussies?	83
3.2	Algemene Natuurwetenschappen en 'Scientific Literacy'	85
3.2.1	Waarom ANW?	85
3.2.2	Scientific Literacy: speciaal voor ANW?	87
3.2.3	De inhoud van ANW	90
3.2.4	Een probleemstellende 'story line' voor ANW (en voor Natuur-Kennis?)	94
3.3	Het einde?	101

4	De discussies van vandaag: over NINA en de CCB	105
4.0	Doel	105
4.1	Buitenlandse invloeden	105
4.1.1	Twenty First Century Science	105
4.1.2	Advancing Physics	107
4.1.3	Salters-Horners Advanced Physics Course	110
4.1.4	Physik im Kontext	110
4.2	De keuzen van NINA	112
4.2.1	De grote lijnen	112
4.2.2	Commentaar op deze keuzen	116
4.2.3	De NINA-syllabus en het concept examenprogramma	120
4.2.4	De CCB	123
4.3	Contexten en thema's in het PLON	126
4.3.1	Aandacht voor praktische relevantie	126
4.3.2	Theoretische situaties	128
4.3.3	Schoolse situaties	131
4.3.4	Realistische situaties	132
4.3.5	Van situaties naar een thema	133
4.3.6	Een voorbeeld van een thematisch curriculum	136
4.3.7	Functionaliteit en generaliteit	139
4.3.8	De structuur van een thema	142
4.3.9	Problemen met contextrijk onderwijs	147
4.3.10	Implementatie van contextrijk natuurkundeonderwijs	151
4.3.11	Kritiek op contextrijk natuurkundeonderwijs	153
4.3.12	Onderzoek naar contextrijk (natuurkunde)onderwijs	158
4.4	Conclusies over contextrijk natuurkundeonderwijs	166
4.5	Handelingspraktijken als oplossing?	171
4.5.1	Nieuwe scheikunde en nieuwe biologie	171
4.5.2	Handelingspraktijken voor natuurkunde: een gedachten- experiment	179
4.6	Update	183
4.7	Afsluiting	191
5	De discussies van vandaag: over NLT, samenhang en interdisciplinariteit	193
5.0	Doel	193
5.1	Natuur, Leven en Technologie	193
5.1.1	De visie	193
5.1.2	De uitwerking	197
5.1.3	Eerste evaluatie en reflectie	200
5.1.4	Eindadvies en tweede evaluatie	204
5.2	Samenhang en interdisciplinariteit	208
5.3	Afsluiting	213
6	Conclusie: elke maatschappij krijgt...	215

Deel 3	Onderzoeksgeïnduceerde bijdragen aan de didactiek van de natuurkunde: over het hoe en het waarom	221
7	Van ‘Bildung’ tot Bruner en van ‘PSI’s’ tot Piaget	223
7.0	Doel	223
7.1	De situatie voor het begin	223
7.2	Het begin: doelstellingen in soorten en maten	226
7.2.1	Introductie	226
7.2.2	Doelstellingen formuleren	227
7.2.3	Doelstellingen ordenen: Taxonomie van Bloom	228
7.2.4	Geprogrammeerde Instructie	229
7.2.5	Mastery Learning, PSI’s en ‘Time on Task’	233
	7.2.5.1 Individuele Studiesystemen (PSI’s)	233
	7.2.5.2 Differentiatie binnen klasseverband: DBK-na	235
7.3	Niveaus van Piaget en science-onderwijs	237
7.3.1	Niveaus in Cognitieve Ontwikkeling?	237
7.3.2	Het CSMS-project	242
	7.3.2.1 SRT’s en CAT’s	242
	7.3.2.2 De ‘match’	246
7.3.3	Het CASE-project	250
7.3.4	Afronding	252
7.4	Being a scientist for the day?	253
8	De diagnose van het constructivisme	261
8.0	Doel	261
8.1	Het begin	261
8.2	Over pre- en misconcepties en hun oorsprong	266
8.2.1	Leerlingen en mechanica	266
8.2.2	Energie tussen leefwereld en vakstructuur	271
8.2.3	Materie, deeltjes en modellen	276
	8.2.3.1 Inleiding	276
	8.2.3.2 Materie, macroscopisch gezien	277
	8.2.3.3 Leerlingen en deeltjes	279
	8.2.3.4 Modellen	282
8.2.4	Leerlingen en ioniserende straling	285
	8.2.4.1 Inleiding	285
	8.2.4.2 “Straling” en bronnen van ‘straling’	285
	8.2.4.3 Redeneren over radioactiviteit	287
	8.2.4.4 Na onderwijs over radioactiviteit	288
8.2.5	Moraal	289
8.3	Het interpretatieprobleem	290
8.3.1	Misconceptie of misinterpretatie?	290
8.3.2	Een voorbeeld van een klassendiscussie	291
8.3.3	Verschillende analyses van bovenstaand protocol	295
8.3.4	Onze eigen analyse	298

8.3.5	Wat betekent dit alles voor het onderwijzen?	303
8.3.6	Rechtvaardiging van onze analyse: het interpretatieprobleem en het principe van welwillendheid	306
8.3.7	Opnieuw de moraal	308
8.4	Over de relatie tussen common-sense en natuurkunde	311
8.4.1	Algemene karakterisering van de leefwereld	311
8.4.2	Verdere analyse van common-sense	312
	8.4.2.1 P-prims	312
	8.4.2.2 Verklaringsschema's	316
	8.4.2.3 Over 'actions' en 'explanations'	321
8.4.3	Over natuurkunde en het verschil	324
8.5	Van socio tot didactisch constructivisme	330
8.6	Reflectie	335
9	Constructivistische 'oplossingen': avant et après la lettre	339
9.0	Doel	339
9.1	WEI en de Van Hiele niveaus	339
	9.1.1 WEI-gedachten	339
	9.1.2 Ook natuurkundige Van Hiele niveaus?	347
9.2	Realistisch reken- en wiskundeonderwijs	351
	9.2.1 Korte historie	351
	9.2.2 De visie	352
	9.2.3 Voorbeeld van een realistische leergang	354
	9.2.4 Realistisch natuurkundeonderwijs?	356
9.3	Conceptual change	361
	9.3.1 De 'conflict'-theorie	361
	9.3.2 De trage inbreker	364
	9.3.3 Een 'groei'-theorie?	368
	9.3.4 Constructivistische curriculumontwikkeling	369
	9.3.5 Deeltjes volgens CLISP	372
	9.3.6 Hoezo constructivisme?	375
9.4	Directe instructie, 'active engagement' en 'inquiry learning'	376
	9.4.1 Directe instructie, constructivistisch geïnspireerd	376
	9.4.2 Actieve betrokkenheid, constructivistisch geïnspireerd	383
	9.4.3 'Inquiry learning', constructivistisch geïnspireerd	387
	9.4.4 Van 'Force Concept Inventory' tot 'evidence based'	393
9.5	Begripsontwikkeling en de rol van ICT	396
	9.5.1 Prehistorie	396
	9.5.2 Van de Middeleeuwen tot heden	397
9.6	Reflectie	402
10	Psychologische 'oplossingen': probleemoplossen, metacognitie en Vygotsky	405
10.0	Doel	405
10.1	Probleemoplossen	405
	10.1.1 Inleiding	405

10.1.2	Probleemcategorisering en representatie	408
10.1.3	Het verloop van het oplosproces en de SPA-aanpak	410
10.1.4	Probleemschema's	416
10.1.5	Afwisseling van actie en reflectie	419
10.1.6	Afronding	421
10.2	Metacognitie en natuurkunde leren	424
10.2.1	Waar gaat het om?	424
10.2.2	Enkele opvattingen van leerlingen	426
10.2.3	Enkele opvattingen van docenten	430
10.2.4	En hoe in de klas?	434
	10.2.4.1 Stimuleren van actieve en diepe verwerking	434
	10.2.4.2 Een metacognitief onderwijsdoel	435
10.3	Constructivisme en cultuurhistorische invloeden	440
10.3.1	Inleidende context	440
10.3.2	Toch Vygotsky?	442
10.3.3	Enculturatie	444
10.3.4	'Learning demand' en recontextualisatie	445
10.3.5	Energie als voorbeeld	447
10.4	Afsluiting	449
11	Utrechtse 'oplossingen': een probleemstellende aanpak	451
11.0	Doel	451
11.1	Probleemstelling	451
11.2	Voorbeelden van didactische structuren	453
	11.2.1 Een inleiding tot radioactiviteit	453
	11.2.2 De introductie van een aanvankelijk deeltjesmodel	458
	11.2.3 Onderwijzen van (besluitvormings)vaardigheden	467
	11.2.4 Een introductie tot de mechanica	468
11.3	Reflectie op de probleemstellende benadering	472
11.4	Afsluiting	476
12	De 'oplossingen' gewogen	479
12.0	Doel	479
12.1	Dwarsgebakken samenvatting	479
12.2	En toch: kritiek?!	483
13	Leren onderzoeken, ontwerpen en modelleren	487
13.0	Doel	487
13.1	Inleiding	487
13.2	Leren onderzoeken?	491
	13.2.1 'Wetenschappelijke' denkprocessen?	491
	13.2.2 Een wetenschappelijke methode?	493
	13.2.3 Een wetenschappelijke benadering?	497
	13.2.4 Een wetenschappelijke houding?	504
	13.2.5 Op weg naar een onderzoekscompetentie?	509

13.2.6	Afronding	516
13.3	Leren ontwerpen?	517
13.3.1	Inleiding en aanleiding	517
13.3.2	Zijn ontwerpen en onderzoeken echt heel verschillend?	520
13.3.3	Ontwerpvaardigheden?	526
13.4	Leren modelleren?	531
13.4.1	Inleiding	531
13.4.2	Wat is een model?	532
13.4.3	En wat is modelleren?	534
13.4.4	Naar een leerlijn modelleren?	539
13.4.4.1	Rationale	539
13.4.4.2	Descriptief modelleren	540
13.4.4.3	Causaal modelleren	543
13.4.4.4	Dynamisch modelleren	544
13.4.4.5	Leren dynamisch modelleren	547
13.4.5	Afronding	550
13.5	Afsluiting	552
14	Conclusie: elke maatschappij krijgt...	555
15	Epiloog	559

0 Proloog

0.1 Waarom deze studie?

Onderwijsvernieuwingen voltrekken zich tegenwoordig in een razend tempo. Ook in het natuurkundeonderwijs. De ene vernieuwing is nog niet geïmplementeerd of hij wordt alweer aangevuld, c.q. vervangen, door een volgende. Steeds lijkt het te gaan om broodnodige, eloquent beargumenteerde, verbeteringen van een deplorabele ‘traditionele’ situatie. En dat al vele tientallen jaren. Als deze retoriek inderdaad de werkelijkheid zou beschrijven, zouden we nu in ons land het beste natuurkundeonderwijs ooit, en waar ook ter wereld, moeten hebben, ware het niet dat eenzelfde proces zich eigenlijk overal lijkt voor te doen. En tegelijk is er voortdurend sprake van een crisis in het onderwijs. Ook nu staan er weer ingrijpende ‘noodzakelijke’ veranderingen op stapel. Het lijkt alsof er wel sprake is van voortdurende verandering, terwijl er toch niet echt gesproken kan worden van voortdurende verbetering. Alsof al deze vernieuwingen niet echt op elkaar voortbouwen, maar steeds opnieuw het wiel proberen uit te vinden, zonder veel historisch besef. Nieuwe mensen, met nieuwe idealen en nieuw enthousiasme vinden steeds weer dat het ‘anders’ moet, dat modernisering nodig is. Omdat de ‘maatschappij van vandaag’ en vooral die van morgen, daar steeds weer om zou vragen. En ja, in zekere zin is dat ook zo!

Mijn motief voor deze beschouwingen komt daaruit voort. Ik heb de overtuiging dat het nuttig is om de ontwikkelingen van de laatste jaren in historisch perspectief te plaatsen. En gezien mijn leeftijd, met veertig jaren werkervaring als curriculumontwikkelaar en vakdidactisch onderzoeker, is dit ook een begrijpelijk motief. Niet omdat vroeger alles beter zou zijn geweest, maar wel omdat men altijd moet kunnen en willen leren van het verleden. Vooropgesteld dat die ervaringen uit het verleden dan ook toegankelijk zijn voor ieder die er kennis van zou willen nemen.

0.2 Waarom deze inhoud?

Ik wil daarom proberen in grote lijnen de argumenten voor en producten van de belangrijkste curriculumdiscussies op een rijtje te zetten en met elkaar te vergelijken. En tegelijk zal ik de beschrijving van deze discussies verweven met de vraag wat didactisch onderzoek heeft bijgedragen aan de oplossing van geconstateerde problemen. Wat heeft vijftig jaar ‘professionele’, en soms zelfs wetenschappelijke, natuurkundedidactiek eigenlijk opgeleverd? Daarvan wil ik een bereflecteerd overzicht geven, zonder overigens de pretentie te hebben de wijsheid in pacht te hebben. Ofwel, zonder te weten hoe het allemaal beter zou hebben gekund. Ik heb daarbij ook volstrekt niet de illusie volledig te kunnen zijn. Mijn keuze is een persoonlijke, gericht op wat ik denk dat, historisch gezien, het belangrijkste is geweest en vooral bepaald door wat ik er zelf vanaf denk te weten.

Bij het beschrijven van deze curriculum- en onderzoeksdiscussies en van de ontwikke-

Omzien in verwarring

lingen in het natuurkundeonderwijs waartoe deze geleid hebben, zal ik hoofdzakelijk een chronologische hoofdlijn aanhouden. Om te beginnen schets ik de ontwikkeling in opvattingen over natuurkundeonderwijs in de afgelopen vijftig jaar, zoals die naar voren komt uit rapporten van een reeks van vernieuwingscommissies. Ik plaats deze in het perspectief van enerzijds de ontwikkelingen in ons schoolsysteem als geheel, en anderzijds van een aantal invloedrijke buitenlandse vernieuwingsprojecten. Daarmee is voldoende basis gelegd om daarna dieper in te kunnen gaan op een aantal recentere curriculumdiscussies. Deze worden nu geconcentreerd op vragen naar 'scientific literacy', context-conceptbenadering en interdisciplinariteit. Daarna besteed ik aandacht aan voornamelijk (leer)psychologisch gemotiveerde ontwikkelingen in opvattingen over leren en onderwijzen van natuurkunde. Aan de orde komen eerst het behaviorisme, met daarna Piaget's theorie van cognitieve ontwikkeling en 'discovery learning'. Vervolgens behandel ik uitgebreid het 'didactisch constructivisme'. Eerst voor wat betreft de inspiratie die daar van uit is gegaan voor een diepere analyse van de natuurkundige onderwijsproblematiek. Daarna voor wat betreft de vraag of deze invalshoek ook een perspectief heeft geboden voor oplossingen, om ten slotte te eindigen met de bespreking van 'nieuwe' vaardigheden als leren onderzoeken, ontwerpen en modelleren.

Zoals gezegd lijkt het vaak wel of de onderwijswereld leidt aan collectief geheugenverlies. Te vaak wordt vergeten dat de motieven voor vernieuwingen meestal helemaal niet nieuw zijn, maar veeleer van alle tijden. En dat dat dus niet alleen betekent dat eerdere vernieuwingen kennelijk niet aan hun verwachtingen hebben beantwoord, maar ook dat daarmee onvermijdelijk de vraag wordt opgeroepen, zonder deze uiteraard te stellen, waarom die nieuwe voorstellen dat dan wel zouden doen. Immers, hoe nieuw zijn zulke 'nieuwe' voorstellen dan eigenlijk wel, ervan uitgaande dat het niet onbepaald mogelijk is steeds maar weer iets heel anders te bedenken dat ook nog uitvoerbaar is?

Mede daardoor is er de laatste jaren in het onderwijskundige onderzoek, naar analogie met medisch onderzoek, een steeds sterkere vraag gekomen naar 'evidence-based' onderzoek, met name gericht op een 'harde' evaluatie van onderwijsvernieuwingen. Zo kun je, gezien de huidige vernieuwingsgolf gericht op de invoering van natuurwetenschappelijk onderwijs waarin een context-conceptbenadering wordt vormgegeven, voor de toekomst de vraag stellen waarin de effecten van zo'n 'context-concept-based' curriculum inderdaad afwijken, en hopelijk dan in positieve zin, van die van een 'traditioneel' curriculum. Nu al valt te voorspellen dat in zulk effectonderzoek de vakdidactische kwaliteit van het gegeven onderwijs nauwelijks een rol zal spelen. Ofwel, het verloop van het onderwijsleerproces, zoals vormgegeven door het vakdidactisch handelen van docenten, zal daarin onderbelicht blijven, terwijl, mijns inziens, juist deze 'variabele' veel belangrijker is dan de vraag van wel of geen context. Ik meen dat te kunnen stellen op grond van mijn ervaring met vakdidactisch onderzoek, waarin juist wél naar het verloop van onderwijsleerprocessen is gekeken. Helaas blijkt daaruit steeds weer dat veel onderwijs, vakdidactisch gezien, niet alleen nogal wat te wensen over laat, maar ook dat voorgestelde vernieuwingen wel vaak leiden tot een (enigszins) andere didactiek, maar niet noodzakelijkerwijs ook tot een betere didactiek.

Bij de beschrijving van de vernieuwingen in het natuurkundeonderwijs zal ik zo nodig, vanuit didactisch perspectief, ook nader reflecteren op het vak natuurkunde zelf: wat is eigenlijk, zo die bestaat, haar vakstructuur, wat zijn natuurkundige regels en begrippen, hoe verhouden die zich tot ‘common-sense’ kennis, bestaat er een natuurkundige methode en kun je ook spreken van daarbij horende attitudes? Deze reflectie biedt enerzijds een zekere achtergrond bij eerder beschreven beleidsstukken, waarin al deze zaken als welhaast vanzelfsprekend worden voorondersteld, en anderzijds een noodzakelijke basis voor de interpretatie van onderzoek naar natuurkundige begripsproblemen van leerlingen. Al sinds enkele decennia vindt zulk onderzoek plaats, maar de vraag of en wat dat heeft opgeleverd verdient nog steeds aandacht. Al was het alleen maar omdat de uitkomsten nog niet echt zijn doorgedrongen in de onderwijspraktijk, onder andere omdat deze praktijk vanwege voortdurende ‘grotere’ vernieuwingsdriften daar ook nog nauwelijks de tijd voor heeft gekregen. Ik zal in mijn beschrijving overigens geen volledigheid van details nastreven, maar vooral proberen een aantal grotere lijnen te trekken.

Het lijkt me overigens juist om me, zoals gezegd, te beperken tot die zaken waar ik ‘verstand van denk te hebben’, wat betekent dat er nog veel meer zaken zijn die ik niet zal behandelen. Zo zal ik me in hoofdzaak beperken tot het onderwijs en de didactiek in de bovenbouw van het HAVO/VWO. Ik zal ook geen aandacht besteden aan de opleiding van docenten, dus aan de didactiek van het didactiek leren, en ook niet aan de concrete onderwijspraktijk. Onderzoek bewaart daartoe immers altijd een zekere afstand, ook al is er soms sprake van bruikbare voorbeeldsituaties. Uiteindelijk is het aan de docent die afstand te overbruggen, maar, zoals het tegenwoordig heet, dan liefst wel ‘research informed’!

0.3 Waarom dit boek?

Waarom zou iemand tegenwoordig nog een boek schrijven over een onderwerp als dit? Alle informatie is toch immers op het internet te vinden? Dat is ook zo, alleen is die informatie altijd gefragmenteerd. Als je grote verbanden wilt laten zien tussen zaken die zich hebben uitgestrekt over vele jaren, dan is een boek nog steeds het meest geschikte middel. Tegelijk is zo’n boek altijd ook een persoonlijke interpretatie van de geschiedenis. Gebaseerd op een individuele selectie van wat wel en niet belangrijk was en waarom. Maar naast dit zakelijke, heb ik ook nog een zeer persoonlijk motief voor dit boek.

Als persoon ben ik altijd een einzelgänger geweest. Zo ben ik er nooit in geslaagd in mijn werk veel vrienden te maken, populair te worden en netwerken te creëren! Integendeel, het schijnt dat ik eerder gevreesd was om mijn scherpe(?) kritiek. Iemand die er dus toch niet echt bij hoorde, en zo voelde dat ook. Lange tijd was dat geen probleem, want mijn werk vulde mijn leven, gedragen door mijn vrouw en kinderen als steunend thuisfront. Dat veranderde volledig toen het fundament onder mijn leven wegviel omdat mijn vrouw overleed. Het zwarte gat waarin ik terecht kwam was heel diep en vooral zeer langdurig. Dat had ook grote consequenties voor de kijk op mijn

Omzien in verwarring

werk en mijn carrière. Hoe had ik toch mijn leven kunnen vergooiden door me bezig te houden met zoiets volstrekt onbelangrijks als natuurkundedidactiek? Dat was toch helemaal geen vak en zeker geen wetenschap? Gewoon een flutvak!

Jaren heeft het geduurd voor ik weer enige motivatie kon opbrengen voor dat werk. Maar het vroegere fanatisme is nooit meer teruggekomen en het leek me dan ook het beste om vervroegd plaats te maken voor anderen. Dat schiep innerlijke ruimte, ik hoefde me niet meer steeds schuldig te voelen, al bleef er toch ook iets knagen. Dit was toch wel een heel onbevredigend einde van mijn werkzame leven. En zo ontstond de gedachte om dit boek te gaan schrijven. Om voor de jongere generaties een overzicht te maken van alles waar we ons in mijn tijd mee bezig hadden gehouden. Om te laten zien dat natuurkunde-didactisch onderzoek wel degelijk iets te bieden heeft wat de moeite van het weten waard is. Het schrijven hiervan heeft helaas veel te lang geduurd. Regelmatig is het voor kortere of langere tijd onderbroken geweest, of zelfs 'definitief' gestopt, vanwege steeds terugkerende nieuwe depressies. Uiteindelijk is het dan toch gelukt, al is de vorm waarin heel anders dan ik oorspronkelijk voor ogen had. Ik hoop dat er toch een aantal mensen is, dat het de moeite waard zal vinden om er in te lezen. Niet alleen natuurkundedidactici, maar misschien ook een aantal natuurkundedocenten, al zullen die er weinig in aantreffen waar ze direct iets mee kunnen. Toch is het ook voor hen geschreven. Ik zie het in zekere zin als een revanche voor wat toch 'mijn vak' is geweest. Maar in de allereerste plaats is het een revanche voor en op mezelf!

Voor het schrijven van dit boek ben ik veel dank verschuldigd aan alle collega's die me geholpen hebben bij het vormen van mijn denken, en van wier gedachten ik hier gebruik heb kunnen maken. Te veel om met name te noemen. Velen van hen zult u bij het lezen tegenkomen in citaten, waarvan ik overvloedig gebruik maak. Ook zal ik me veelvuldig bezondigen aan zelfplagiaat! Ik doe dat om twee redenen. In de eerste plaats om wetenschappelijk recht te doen aan de bronnen die ik gebruik. Maar in de tweede plaats ook omdat het meestal beter is een auteur zelf aan het woord te laten, dan om zijn of haar gedachten verkort en vervormd weer te geven. Zelfs al gaat dit soms ten koste van de leesbaarheid. Daar komt nog bij dat het ontwikkelen van eigen originele gedachten nooit mijn sterke kant is geweest. Ik heb het altijd moeten hebben van hard werken, van heel veel bronnen lezen, om mezelf op grond daarvan geleidelijk aan een mening te kunnen vormen. Niet alleen met als doel om te komen tot een overzicht van de grotere lijnen, maar tegelijk om te komen tot een synthese en evaluatie. En zijn dat niet juist de hoogste vaardigheidscategorieën, volgens Bloom? Welnu, dat is precies de werkwijze die ik ook voor dit boek gevolgd heb. Naar ik hoop, met enig succes!

Ten slotte geldt mijn dank ook hen die mij geadviseerd hebben bij het tot stand komen van dit boek, evenals hen die de uitgave ervan mogelijk hebben gemaakt.

Deel 1

Een persoonlijke introductie

Doel

Na deze korte proloog, waarin het waarom van dit werk wordt geschetst, volgt een persoonlijk relaas van mijn eigen ervaringen met natuurkundeonderwijs als leerling, en als student. Dat is niet alleen zomaar een verhaal. Het geeft ook een beknopt idee van de beginsituatie, van hoe het onderwijs er in de jaren vijftig en zestig van de vorige eeuw uitzag. Hoe allerlei problemen van vandaag ook toen al aan de orde waren, maar óf nog geen aandacht kregen, óf heel anders werden 'opgelost'. Het geeft daarmee ook de gelegenheid allerlei vragen te formuleren, die in de rest van dit boek aan de orde zullen komen.

Daarna schets ik mijn weg door de natuurkundendidactiek als zich ontwikkelend wetenschappelijk werkgebied. Daarmee wil ik laten zien dat ook daarin veel is veranderd, al zijn de onderliggende thema's grotendeels hetzelfde gebleven. Om ten slotte te eindigen met een verantwoording van de optiek van waaruit dit boek is geschreven.

*Troost voor de lezer'
Veel wordt gepubliceerd,
niet om te worden gelezen,
maar om te zijn geschreven.*

1 Relas van een langer lerende...

1.1 Inleiding

Mijn eerste concrete ervaringen met natuurkundeonderwijs dateren uiteraard van de tijd toen ik zelf leerling was en later als student ‘wis- en natuurkunde’. Ter relativering van alle nog volgende hoogdravende beschouwingen, en tegelijk als beginpunt van de te beschrijven didactische ontwikkelingen, wil ik daar nu eerst op terugkijken. Persoonlijke herinneringen vanuit het perspectief van ‘de lerende’, maar tegelijkertijd geselecteerd en gewogen vanuit het perspectief van de latere didacticus. Ter ‘leringhe ende vermaeck’, en tegelijk als concrete introductie op een aantal didactische problemen, dat later in dit boek aan de orde zal komen. Daarmee wil ik niet alleen een kort tijdsbeeld schetsen, al is er geen enkele garantie dat mijn ervaring voldoende representatief is, maar tegelijk, didactisch geformuleerd, een beginsituatie weergeven, want tenslotte ligt mijn ervaring als onderwijsconsument, ruwweg gezien, precies aan het begin van diezelfde periode van veranderingen, die verderop in het brandpunt zullen staan. Het moge de lezer ook stimuleren om mijn ervaringen aan te vullen met zijn/haar eigen ervaringen, teneinde daarmee te komen tot een bewuste uitbreiding van het beginperspectief. Tenslotte gaat didactiek ook over (het handelen van) mensen en over (dat van) leerlingen en docenten in het bijzonder!

Deze persoonlijke reflectie bevat ook een paragraaf over mijn werk als natuurkundedidacticus. Ik besteed daarin ook aandacht aan de recente veranderingen in de universitaire werkomgeving, omdat voor het kunnen plaatsnemen van de ‘opbrengst’ van alle natuurkunde-didactische activiteit, ook enige kennis daarvan op zijn plaats lijkt.

1.2 (Reflectie op) eigen ervaring

1.2.1 Als leerling...

Wat is er, in de periode die ik denk te kunnen overzien, allemaal gebeurd in het natuurkundeonderwijs? Toen ik, nadenkend over deze vraag, de bibliotheek in dook om me dienaangaande eerst maar eens wat nader te oriënteren, stond ik al snel met het ‘Leerboek der Natuurkunde’ van P. Doornenbal en E.W. Nijhoff (7^{de} druk, 1947) in mijn handen. De reden hiervoor was puur nostalgisch. Immers, hieruit heb ik zelf, in 1955, mijn eerste natuurkundelessen gehad. Ik zie nog ‘de Stoppel’ voor me, mijn eerste natuurkundeleraar, een lange magere man die deze bijnaam waarschijnlijk te danken had aan zijn volledige kaalheid. Een kenmerk dat toen nog géén mode was. Of anders misschien aan zijn droogstoppelige manier van lesgeven. Een man ook met een onbetwistbaar intellectuele uitstraling, die geheel in overeenstemming was met zijn voor mij als twaalfjarig kind wel zeer indrukwekkende doctorstitel. De inventaris van het natuurkundelokaal bestond uit grote werkbanken, met gas-, elektriciteits- en wateraansluitingen, met daarachter kleine draaikrukjes die het onbetwistbare nadeel hadden

oppervlakte-eenheden (b.v. cm^2), een dikte in lengte-eenheden (b.v. cm).

Kan het volume van een lichaam niet *berekend* worden, dan kunnen we het door een proef a. v. bepalen:

a*. *Met een maatglas.* We nemen een maatglas (fig. 6, rechts) met een verdeling in cm^3 . Het volume van een zekere hoeveelheid *vloeistof* is dus af te lezen door de vloeistof er in te gieten en te kijken, bij welk getal het oppervlak gaat staan.

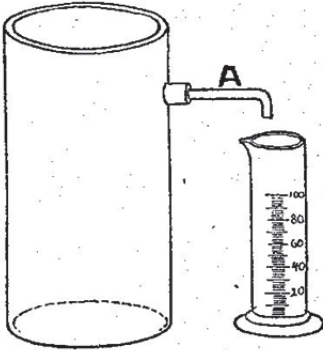


Fig. 6. Afloopvat met maatglas.

Om het volume van een *vaste stof*, b.v. een stuk koper, te meten doen we in het maatglas een hoeveelheid water; stel het oppervlak blijft bij 50 staan. Daarna brengen we het stuk koper in het water en zien de vloeistofspiegel tot b.v. 55 stijgen. De inhoud van het stuk koper is dan 5 cm^3 .

b*. *Met een afloopvat en een maatglas.* Voor grotere vaste lichamen gebruiken we het afloopvat (fig. 6). Dit wordt zover gevuld, dat er wat vloeistof uit buis A loopt. Als deze buis niet meer druppelt, wordt het maatglas eronder gezet en daarna het vaste lichaam onder de vloeistof in het afloopvat gebracht. Dit verdringt een bepaald volume vloeistof, die in het maatglas wordt opgevangen. Het volume van het lichaam is even groot als het volume der verdrongen vloeistof. Dit laatste is op het maatglas direkt af te lezen, zodat het volume van het vaste lichaam bekend is.

§ 4. Het meten van het gewicht van een lichaam.

a. *Gewicht, een algemene eigenschap.* Een steen, die wij loslaten, valt (over de gevallen, waarin een losgelaten lichaam, b.v. een ballon, stijgt, spreken we later). Verhinderen we de steen te vallen door hem met de hand te ondersteunen, dan maakt het streven om te vallen zich merkbaar door een *druk* op onze hand. Bevestigen we de steen aan een touw, dat wij in de hand houden, dan voelen wij een *trek* aan onze hand. Deze eigenschap, een druk of trek te kunnen opwekken, formuleren we gewoonlijk korter door te zeggen, dat het lichaam *gewicht* heeft.

De grootte van het gewicht stellen we gelijk aan de opgewekte druk of trek.

Niet alleen vaste stoffen en vloeistoffen, maar ook gassen hebben

dat je er niet lekker op kon achterover leunen. Pas zeer veel later heb ik begrepen dat mijn HBS¹ hiermee zijn tijd ver vooruit was. Een lokaal dat speciaal was ingericht voor het doen van practica, wat natuurlijk alles te maken had met het feit, zoals me eveneens later is gebleken, dat ‘de Stoppel’ tot een groep van didactisch vooruitstrevende docenten behoorde en daarbinnen zelfs landelijke bekendheid genoot.

Al bladerend in Doornenbal en Nijhoff kwam als vanzelf weer de herinnering boven aan de practica waarin we met bekeerglazen vol water het onbekende volume van vreemde ‘lichamen’ moesten bepalen (figuur 1), of waarin we naar het gaan koken van water moesten turen, zonder verder enig idee te hebben van het hoe en waarom. Misschien is er toen toch een kiem gelegd. Wellicht ligt die toch ten grondslag aan het feit dat ik nu regelmatig gefascineerd kan kijken naar hoe mijn theewater langzaam aan de kook komt en me realiseer dat ik dus eigenlijk nu pas de zin van dat toenmalige practicum begrijp.

Bladerend door het boek valt me nu ook op hoe wereldvreemd de inhoud is en meen ik me vaag te herinneren dat ik als leerling ook weinig tot geen idee had van waar dat vak natuurkunde over ging. Zaken als de pyknometer, het parallelogram van krachten, het toestel van Hartl, de proef van Torricelli, de bol en ring van ’s Gravesande, de proef van Tyndall, het toestel van Atwood, etc., leverden af en toe wel spectaculaire demonstraties op, maar waren toch niet direct in staat om mijn leefwereld drastisch te beïnvloeden. Het zijn even zovele illustraties van het gesloten systeem van de toenmalige schoolnatuurkunde, waarin je kon uitblinken in het beantwoorden van de gestelde repetitievragen, zonder verder veel idee te hebben dat de geleerde kennis toch ook buiten school bruikbaar zou kunnen zijn. Ik heb dan ook nooit het idee gehad, toen ik na drie jaar HBS de school voor gezien hield, dat ik daarmee ook afstand deed van een belangrijke bron van interessante en bruikbare kennis, de natuurkunde.

Een geheel andere ervaring deed zich enkele jaren later voor op een andere school, een HTS², waar natuurkunde werd gegeven door een ingenieur die naast zijn lesgeven het grootste deel van zijn tijd besteedde aan wetenschappelijk onderzoek. Een sterke persoonlijkheid die met zijn indringende ogen en sonore stem het klaslokaal tot in alle hoeken beheerste. Maar ook iemand die hart had voor zijn leerlingen. Hij nodigde onze hele klas, in groepjes, bij hem thuis uit om te eten. Hij behandelde ons als volwassenen, en dat kenmerkte eigenlijk ook zijn manier van lesgeven. Op een of andere manier gaf hij me, zelfs bij de behandeling van de kinematica, het idee dat we met interessante materie, ja, misschien zelfs wel met wetenschap, bezig waren. Vooral de manier waarop hij met zijn rekenliniaal de uitkomst van een som snel even ‘in goede benadering’ kon uitrekenen, vond ik fascinerend. Dat je zo snel iets kon uitrekenen door gewoon even wat te schuiven met twee stukjes hout!

Het leerboek dat hij gebruikte, ‘Natuurkunde op corpusculaire grondslag’ van J. Schweers en P. van Vianen (7^e druk, 1960), staat nog steeds in mijn kast. In het voorwoord van deel 1 lees ik: *“Het experiment vormt de basis bij de behandeling van de verschillende onderwerpen. Bij de verklaring van de natuurverschijnselen gaan wij uit van de corpusculaire structuur*

¹ Hogere Burger School, de voorloper van het huidige VWO.

² Hogere Technische School, één van de voorlopers van de huidige hogescholen.

Een persoonlijke introductie

der materie. Wij vermijden daardoor dat onze leerlingen, die slechts in beelden kunnen denken, zich een onjuist beeld vormen van deze structuur. Onze ervaring is, dat de leerlingen op die manier een goed inzicht krijgen in de natuurverschijnselen...” Zo voerden zij al op pagina 30 van deel 1, dus voor 13/14-jarige leerlingen, de molecuultheorie in, na eerst de “*uiterst belangrijke vraag*” gesteld te hebben of water, net als zand en melk, al of niet uit afzonderlijke deeltjes is opgebouwd. Over de hoofdzakelijk kinetische eigenschappen van de ingevoerde moleculen werd gezegd dat deze “*vrij eenvoudig in de klas kunnen worden aangetoond, of waarvan we de juistheid zonder veel moeite kunnen inzien*”.

Het moge duidelijk zijn dat er toen nog geen sprake was van didactisch onderzoek naar misconcepties!

Ondanks dit voorwoord kregen we van deze docent geen practicum en ik was daar allerminst rouwig om, evenmin als mijn medeleerlingen naar mijn indruk. Ook werd er geen gebruik gemaakt van groepswork of een andere communicatieve of activerende werkvorm. De docent doceerde, want lesgeven is een daarvoor te eenvoudige omschrijving, stelde af en toe een vraag, en wij luisterden en maakten sommen als huiswerk. En ik vond het vak eigenlijk best interessant, al bleek dat niet direct uit mijn houding in de klas. Later vertelde de man dat hij zich grenzeloos aan me had geërgerd, omdat ik tijdens zijn lessen uiterst ongeïnteresseerd op mijn stoel leek te hangen. Pas na de eerste proefwerken werd het hem duidelijk dat dat niet was omdat het niet interessant was, maar omdat het tempo voor mij kennelijk veel te laag lag. Het kenmerkte de man als mens en als docent dat hij me toen bij zich riep en me aanraadde om een universitaire opleiding te gaan volgen. Daartoe moest ik wel eerst een HBS-diploma gaan halen.

En vanaf dat moment wist ik, dankzij zijn lessen, dat ik dan natuurkunde zou gaan studeren. Wat heb ik aan die man veel te danken!

Terug op mijn oude HBS kreeg ik te maken met een derde natuurkundeleraar. Een nog redelijk jonge man, zonder de intellectuele uitstraling van beide vorige docenten, maar meer die van een goedmoedige ‘gewone jongen’. Wij vonden hem, als leerlingen, een aardige man, die bovendien gewoon goed kon lesgeven. De door hem gebruikte methode was de serie Natuurkundewerkboeken van E.E.F Zweers en W.P.J. Lignac. Dit waren, zoals de naam al zegt, geen gewone leerboeken, maar werkboeken. Dat wil zeggen dat de theorie niet gewoon werd uitgelegd, maar dat wij, als leerlingen, door middel van vragen een deel van de theorie min of meer zelf moesten bedenken. Later is me duidelijk geworden dat deze werkboeken in kringen der didactici als erg goed en vooruitstrevend werden beschouwd, maar gelukkig trok onze docent zich daar toen, tot onze diepgevoelde tevredenheid, weinig van aan. Ook hij gaf geen groepswork of practicum, maar behandelde gewoon de stof zoals wij dat verwachtten, klassikaal en duidelijk, deed leuke demonstratie-experimenten, maakte opgaven voor, en bereidde ons uitstekend voor op het eindexamen. Zo behandelde hij in de laatste lessen een paar opgaven, die tot onze latere verrassing een heel sterke overeenkomst bleken te hebben met wat op het examen aan de orde bleek te komen. Voor ons heel frappant en een bewijs van zijn kwaliteiten als docent. Bovendien wist hij door af en toe wat zijwegen in te slaan bij ons de indruk te wekken dat hij heel veel van de natuurkunde afwist. Dus wie schetste mijn verbazing toen ik, jaren later, met hem samen in dezelf-

de collegebanken bleek te zitten. Ik voor mijn doctoraal, hij voor zijn MO-B³.

Tot zover mijn ervaring als leerling met natuurkunde op school. Waarom vertel ik deze anekdotes? Omdat er wat van te leren valt en het vragen oproept. In feite zijn alle zaken waar de natuurkundendidactiek zich mee bezig houdt op deze impliciete manier al voorbij gekomen. Wat is er eigenlijk sinds die tijd veranderd in het natuurkundeonderwijs? En waarom, en werkt dat ook? Wat is een goede docent? Is dat inderdaad de gepromoveerde natuurkundige, zoals in de fysische wereld nogal eens gedacht wordt, of ligt dat toch iets gecompliceerder? Hoe motiveer je leerlingen? Is de docent daarin niet vaak veel doorslaggevender dan wat voor interessante inhoud ook? Wat is een goede didactische opbouw van een leergang? Hoe sluit je aan bij de voorkennis van leerlingen? Zijn ervaren docenten of leerboekschrijvers daarin wel altijd voldoende deskundig? En hoe laat je leerlingen het meest effectief leren? Wat is in dat opzicht het didactische nut van allerlei ‘nieuwe’ werkvormen, waaronder practicum, en van leermethodes? Leer je daar echt beter natuurkunde van? Maar bovenal, hoeervaart een leerling al die didactische activiteit, die toch allemaal bedoeld is om hem/haar van dienst te zijn? Dat zou nog wel eens kunnen afwijken van alle goede professionele bedoelingen, tenminste, als de huidige leerlingen niet al te veel zijn gaan afwijken van die toen ik zelf nog leerling was.

1.2.2 ... als student en promovendus

In 1964 kwam ik aan in Utrecht om wis- en natuurkunde te studeren. Door mijn militaire dienst kon ik pas op 1 november beginnen, wat inhield dat alle colleges en practica al begonnen waren. Het allereerste college dat ik bijwoonde werd gegeven door professor Freudenthal over lineaire algebra. Op zijn zachtst gezegd was hier sprake van een cultuurschok. In een grote zaal liep het prototype van een professor, met vlinderstrikje en wapperende haren, heen en weer voor het bord, ondertussen in accentrijk Nederlands een verhaal vertellend dat grotendeels aan mij voorbij ging. Later heb ik me uiteraard met verbazing gerealiseerd dat dit dezelfde Freudenthal was, die toen al een autoriteit was op het gebied van de wiskundendidactiek. Zijn verhaal had niets te maken met de wiskunde waar ik op school toch zo goed in was. En dat gevoel van totale vervreemding werd nog erger bij het college ‘abstracte analyse’ waar, om voor mij onduidelijke redenen, gegoocheld werd met epsilons en delta’s. Gelukkig bleek deze docent, na een voor mij noodzakelijke periode van gewenning, een meester in het begrijpelijk maken van deze abstracte materie. Zelfs zo dat er later gesproken werd van het ‘Van-der-Blij-effect’, wat inhield dat je op het college het idee had alles te snappen, maar op het werkcollege tot de ontdekking kwam dat het daar over iets heel anders leek te gaan. Je kunt je daarom afvragen welke wijze van doceren, didactisch gezien, beter was!

De kloof die tussen de HBS-wiskunde en universitaire wiskunde zo groot bleek, was gelukkig aanzienlijk kleiner voor de natuurkundecolleges. Mechanica bleek toch ge-

³ Wij vonden het beiden geweldig toen ik hem uiteindelijk, opnieuw jaren later, als lid van de MO-B commissie zijn diploma heb mogen uitreiken.

Een persoonlijke introductie

woon mechanica, zij het dat de behandeling uiteraard veel formeler, het tempo veel hoger en de sommen veel moeilijker bleken te zijn. Het was dus heel hard werken, maar zonder dat gevoel van totale vervreemding. Maar ook voor de natuurkunde was er zeker sprake van een aansluitingsprobleem, al werd daar toen nog niet moeilijk over gedaan. Dit was het meest duidelijk voor het natuurkundepracticum. Twee middagen per week moest je proeven doen, zonder dat het me toen duidelijk is geworden wat ik daar nu van had moeten leren, behalve misschien foutenrekening en een verslag schrijven. De opstellingen stonden klaar, de vraagstellingen waren gegeven, de handleidingen waren grotendeels van wat ik later heb leren kennen als het kookboektype, de theorie kon je opzoeken in de aangegeven handboeken. Pas later heb ik begrepen dat dit als voorbereiding was bedoeld op experimenteel onderzoek, maar daarvan had ik als voorkandidaatsstudent nog geen idee. Waarom moest je als eerstejaarsstudent überhaupt leren solderen, tezamen met andere werkplaatstechnieken, en waarvoor diende de cursus vacuümfysica die je als na-kandidaatsstudent moest volgen? In die tijd stelde je daar als student nog geen vragen bij, je deed gewoon wat op het programma stond.

In het eerste jaar was er ook de ontvullende, zij het niet onverwachte, ervaring dat we nu met allemaal beste-jongetjes-van-de-klas bij elkaar waren (want meisjes waren er nauwelijks). Al spoedig viel de populatie uiteen in drie hoofdcategorieën. Zij die ook op de universiteit de zaken gewoon écht begrepen en ook daar grossierden in hoge cijfers. Hiertoe behoorde uiteraard mijn jaargenoot die nu nog steeds naam maakt als Nobelprijswinnaar en dus al snel uit mijn gezichtsveld verdwenen was. Dan was er de categorie, waartoe ik zelf behoorde, die met hard werken en veel oefenen nog best redelijke tot soms goede cijfers kon scoren op de tentamens, dus die de technieken leerde hanteren, zonder de zaken werkelijk te begrijpen. Een categorie die zich gegeven de aard van het onderwijs, dat wil zeggen dat tentamenvragen beperkte variaties waren op geoefende werkcollegeopgaven, nog redelijk tot goed kon handhaven (een procedé dat dus kennelijk van alle tijden en van alle onderwijstypen lijkt te zijn). Ten slotte was er de grote categorie die al vrij snel aanzienlijke achterstand opliep, vaak leidend tot helemaal afhaken. Daarover werd toen nog niet heel moeilijk gedaan, want natuurkunde was nu eenmaal een moeilijk vak, zodat er goed geselecteerd moest worden. En ook al waren de docenten meestal best goed benaderbaar, je stapte nu eenmaal niet zomaar op een professor af om hulp te vragen! De doceerkwaliteiten van die professoren liep, zoals hiervoor al gememoreerd, nogal uiteen. Van de tot autisme neigende docent, die, uitsluitend in gevecht met het schoolbord, dit in rap tempo vol kalkte met formules, tot de gepassioneerde hoogleraar die zijn natuurkundekennis als het ware probeerde te verkopen aan de collegezaal.

Naast hoorcolleges werd er in de jaren zestig ook voor het eerst gebruik gemaakt van werkcolleges, alhoewel de aard daarvan nogal kon variëren. Bij de wiskundewerkcolleges werd je geacht ter plekke, individueel of in groepjes, sommen te maken, onder begeleiding van soms heel goede studentassistenten (maar helaas niet altijd). Maar bij de natuurkundewerkcolleges kon je thuis gemaakte opgaven inleveren. Die uitwerkingen werden dan nagekeken door een 'promovendus met onderwijstaak', die vervolgens op het 'werkcollege' de opgaven voor maakte op het bord. In de praktijk kwam dit er op neer dat je er enkel voor zorgde die uitwerkingen hoe dan ook in je bezit te

krijgen, zodat je ze voor het tentamen kon bestuderen. Vaak zat er ook niet veel anders op, want die opgaven waren allemaal op tentamenniveau, en dus veelal veel te moeilijk om, als beginner, zelfstandig thuis te maken.

In het na-kandidaatsonderwijs werden de hoofdcolleges gegeven door ‘echte theoretici’, wat inhield dat alle nadruk kwam te liggen op de formele theorieën. Voor toepassingen was daarin geen plaats. Bekend struikelblok was (en is?) het hoofdcollege quantummechanica, dus ook daarvoor gold het eerder genoemde overlevingsmechanisme. Pas bij het schrijven van een VWO-tekst over quantumfysica kreeg ik het idee dat ik begon te snappen wat quantummechanica als theorie eigenlijk inhoudt. Voor deze theoriecolleges gold heel sterk dat er sprake was van een gesloten systeem. Je moest de theorieën kennen, er standaardproblemen mee kunnen oplossen (Kuhn’s inwijding in een paradigma), maar je hoefde het niet echt te begrijpen, laat staan er nieuwe verschijnselen mee te kunnen verklaren. Zo had ik een college theorie van de vaste stof met goed gevolg afgesloten, maar ook al had ik fononen van allerlei frequentie leren kennen, ik kwam zelfs niet eens op de gedachte dat deze theorie ook maar in principe van toepassing zou kunnen zijn voor het begrijpen van de geluidsoverlast waar ik toen mee te kampen had in de flat waar ik woonde. Dat is voor mij altijd het kenmerk geweest van echt begrip, dat je in staat bent je ‘geleerde’ kennis toe te passen op alledaagse fenomenen.

Eigenlijk was het algemeen aanvaard dat de theoretische colleges ook nauwelijks relevantie hadden voor de onderzoeken die je in het kader van de experimentele opleiding moest uitvoeren. Je had de theorie van de colleges en de theorie van je onderzoek, en dat waren gewoon verschillende zaken.

Omdat ik afkomstig ben uit een niet-academisch milieu, had ik geen idee van wat wetenschappelijk onderzoek eigenlijk inhield, en de opleiding tot dan toe gaf daar ook geen beeld van. Je had theoretische kennis en die was er gewoon. Weliswaar bedacht door mensen, maar aan dat ontstaansproces werd geen aandacht besteed. En je had practicumexperimenten, maar die waren om te oefenen met apparaten en metingen en niet om ‘nieuwe’ vragen op te lossen. Maar als ‘kandidaat’ moest ik opeens ‘onderzoek gaan doen’. Daartoe werd ik verwezen naar Dr. Hooymayers, die een vacature had voor een ‘klein onderzoek’ student⁴. Deze man had de gave om mij in een gesprek van ruwweg één uur de indruk te geven dat de wereld eigenlijk zat te wachten op iemand die juist dát onderzoek zou willen uitvoeren. En dat ben ik dus ook gaan doen. Nog steeds was het zo dat de opstelling klaar stond, ik hoefde dus niets te ontwerpen, maar er deden zich nu toch wel allerlei onverwachte technische problemen voor.

Laat me dit toelichten met een kleine anekdote, al is de relevantie daarvan voor mijn didactisch betoog zeer minimaal. Het betrof een onderzoek aan ‘uitdovingsbotsingen in vlammen’. Die vlam diende alleen als heet milieu, een kolom heet gas waarin geplande moleculen en atomen naar hartenlust konden botsen. Om zo’n vlam te maken stonden er grote gasflessen in de kamer, zuurstof en waterstof broederlijk naast elkaar, als brandgassen, evenals stikstof en argon als koelgassen. Door middel van een speciale brander, met heel veel kleine gaatjes en een diameter van wel 5 cm, werd een grote

⁴ Dit was niemand anders dan de latere hoogleraar natuurkundendidactiek, die altijd mijn mentor en voorbeeld is gebleven.

Een persoonlijke introductie

vlam gemaakt, waarbij de hoeveelheid toegevoerde gassen onder andere door een open kwikmanometer werd gemeten. Maar de stabiliteit van die vlam was altijd het resultaat van een dynamische balans tussen de uitstroomsnelheid van de gassen en hun verbrandingssnelheid. En zo kon het gebeuren dat ik op een gegeven moment totaal verrast werd door een enorme knal. Gelukkig had ik nog net de tegenwoordigheid van geest om snel de waterstofkraan dicht te draaien, maar verder stond ik letterlijk te trillen op mijn benen. En dat is nog zacht uitgedrukt. Wat was er gebeurd? Waarschijnlijk was door het leegraken van de stikstoffles de toevoer van stikstof, zonder dat ik het gemerkt had, zover afgenomen dat de vlam implodeerde in de brander. En als gevolg van die implosie was er een drukgolf door het systeem gegaan die de open kwikbarometer fiks had doen overstromen. Na enige tijd verscheen voorzichtig het grijzende hoofd van de hoogleraar, die de aangrenzende zitkamer bewoonde, om de hoek van de deur met de bezorgde vraag of alles wel goed was. En dat was het inmiddels weer. Ik was al begonnen met een kwiktang de druppeltjes kwik waar ik bij kon op te rapen, maar diegenen die tussen de kieren van de vloerplanken weggezakt waren, moest ik laten liggen. Zo is het nog een paar keer gebeurd en al ben ik er nooit helemaal aan gewend geraakt, de schrik werd wel steeds minder. Enkele jaren later, toen de fysici naar een nieuwe behuizing waren vertrokken en de psychologen hun plaats in het oude lab zouden innemen, stond in de krant dat het oude fysisch lab gedeeltelijk sterk vervuild was met kwik! Er waren zelfs kamers bij waarvan de vloer helemaal vernieuwd moest worden, omdat het kwik tot tussen de vloerplanken was doorgedrongen. Watjes, die psychologen, ik heb nooit iets van kwikvergiftiging gemerkt! En ik was echt niet de eerste, bleek later, die dit soort calamiteiten had meegemaakt. Heden ten dage zou dit natuurlijk volstrekt onmogelijk zijn. De brandweer en de ARBO-dienst zouden nu moord en brand schreeuwen. Terecht, uiteraard! Maar toen was het wel spannend en bovendien, het hoorde kennelijk bij dat onderzoek, ook al was ik er volstrekt niet op voorbereid.

Hoe boeiend het onderzoek ook was, helaas had Dr. Hooymayers het zo druk met andere zaken, zo was hij naast wetenschappelijk medewerker ook nog natuurkundedoцент op een middelbare school en bezig met het schrijven van een nieuwe lesmethode, dat de onderzoeksbegeleiding nogal minimaal genoemd moest worden. Iets waarin hij overigens niet echt afweek van de norm, zoals mij bleek uit gesprekken met collega studentonderzoekers. Omdat het de tijd van de democratisering was, en dus van de inspraak van studenten, heb ik later zelfs op een speciaal belegde vakgroepsbijeenkomst het probleem van de falende onderzoeksbegeleiding uitvoerig aan de orde kunnen stellen. En er werd nog naar geluisterd ook! Ondanks dit alles was het een ontzettend interessante periode, waarin mij eindelijk langzaam duidelijk werd wat fysisch onderzoek eigenlijk inhield. In mijn tweede, 'groot' onderzoek moest ik ineens, samen met 'echte' technici, een experimentele opstelling ontwerpen en testen. Toen bleek overigens ook ineens waarom ik had leren solderen, samen met al die andere technieken. En langzamerhand dus ook wat eigenlijk het doel was van al die jaren studie, want onderzoek, hetzij theoretisch of experimenteel, was wel de enige richting waarin je kon afstuderen.

Dat onderzoek doen bleek voor mij trouwens zo interessant dat ik het, toen mij de gelegenheid geboden werd, vanzelfsprekend vond om er mee door te gaan in een

promotieonderzoek. Dat was keihard werken, want als promovendus werd je wel geacht 24 uur per dag, 7 dagen per week, met je onderzoek bezig te zijn. Althans, dat dacht ik. Het was een kans die je moest grijpen om een 'levenswerk' neer te zetten. Hoe anders is het nu bij veel aio's die een promotieonderzoek veeleer lijken op te vatten als een gewone 9 tot 5 baan. Inmiddels was mijn groep verhuisd naar de kelder van de Universiteitswerkplaats, omdat dat voor ons een betere entourage bood. Dat hield voor mij in dat ik drie jaar lang, praktisch dag in dag uit, in een kelderruimte heb doorgebracht, verstoken van alle zonlicht. Bij het licht van een enkele bureaulamp, om zoveel mogelijk ongewenst strooilicht te vermijden, heb ik daar mijn metingen gedaan. Vanwege de voortgang van die metingen vaak zelfs koffie- en lunchonderbrekingen overslaand, alleen in communicatie met mijn apparatuur. En ik vond het prachtig!

Tegenwoordig wordt er over natuurkundestudenten vaak gesproken in termen van toch wat naar autisme neigende, nerd-achtige wezens, alhoewel fysici zelf er in hun voorlichting niet genoeg op kunnen wijzen dat dit volstrekt onterecht is. Maar zouden wij, voordat wij met name meisjes over de streep proberen te trekken voor een natuurkundestudie, ons toch niet wat reëler moeten afvragen voor wie een leven tussen apparaten nu echt de meest geschikte optie is? Als het waar is, zoals psychologen ons willen doen geloven, dat meisjes echt veel socialer ingesteld zijn dan jongens, meer mensen-mens dan dingen-mens zijn, dan moeten we hen dat niet eens willen aandoen! Hoe dat ook precies zij, voor mij was zoeken naar een oplossing voor 'mijn' probleem in mijn onderzoek in ieder geval fascinerend. Het zoeken naar een antwoord op een vraag over hoe een minuscuul stukje van de natuur in elkaar zit. Het ontwerpen en het moeizame bouwen en testen van een experimentele opstelling, die daarvoor geschikt zou moeten zijn, de eerste resultaten en het publiceren daarvan. Onderzoek doen bleek ook een internationale activiteit te zijn, al was er maar een zeer beperkt aantal mensen dat aan dezelfde of verwante problemen werkte. Het corresponderen met deze collega's, verspreid over de hele wereld, tot zelfs in landen als de 'vijandelijke' Sovjet Unie en het onbekende gesloten China, vond ik geweldig. Er bleek, internationaal, zelfs een controverse over de verwante experimentele uitkomsten te zijn. Een factor twee verschil! Welke experimenten gaven nu de correcte en welke anderen moesten dus wel de foute uitkomsten geven? Nog herinner ik mij het fantastische 'eureka-gevoel' toen ik er, als eerste op de wereld (!), in slaagde deze factor twee, door hem niet langer als controverse te zien maar als reëel, theoretisch te verklaren. Dit is wat onderzoek doen tot iets fascinerends maakt, hoe onbelangrijk mijn onderwerp feitelijk ook was. Hier moet ik altijd aan denken als het gaat om de tegenwoordige trend om leerlingen steeds meer te 'leren onderzoeken'. Is het ooit mogelijk om leerlingen op school een enigszins realistisch beeld te geven van wat onderzoek doen feitelijk kan inhouden? Hoezeer we ook spreken over 'authentieke praktijken', is het, als het om onderzoek op school gaat, niet juist de authenticiteit van de onderzoekssituatie die als eerste het loodje moet leggen?

In bovenstaande schets zijn opnieuw enkele aspecten te onderkennen die didactisch relevant zijn. Allereerst natuurlijk de aansluitingsproblematiek: die aansluiting ontbrak indertijd volledig, maar heeft sindsdien veel aandacht gekregen. Hetzelfde geldt voor het probleem van meisjes en natuurkunde. Daarnaast ontbrak het idee van beroeps-

Een persoonlijke introductie

oriëntatie en beroepsvoorbereiding volledig op de oude HBS. Er werd ook geen aandacht besteed aan ‘leren onderzoeken’ en aan de ‘nature of science’ zoals het tegenwoordig heet, en de consequenties daarvan heb ik, zoals beschreven, in mijn studie aan den lijve ervaren. Zowel in het voortgezet als in het hoger onderwijs was er nog totaal geen aandacht voor studievaardigheden, voor leren probleemoplossen, voor leren leren, of voor zelfstandig leren. Maar in ieder geval dat laatste moest je op de universiteit wel opeens gewoon kunnen.

Kortom, er is sindsdien heel veel veranderd en een belangrijke aanzet daartoe werd gegeven door de ‘studentenrevolutie’ van 1968. Toen moest immers de ‘verbeelding aan de macht’ en dus alles anders. Met als uiteindelijk gevolg vergaande democratisering, vormgegeven in allerlei commissies en raden, waarin studenten hun woordje op meer dan gelijk niveau meespraken. Met name ook wat betreft de inrichting van het onderwijs waar die studenten immers direct mee te maken hadden. Inhoudelijk kernpunt was de roep om grotere maatschappelijke relevantie in onderwijs en onderzoek, resulterend in zaken als projectonderwijs, onderwijs in ‘Natuurkunde en Samenleving’, en in onderzoek voor de ‘gewone man’ door Wetenschapswinkels. Ook kwam voor het eerst, zij het voorzichtig, de didactische bekwaamheid van docenten ter discussie. Binnen de natuurkundeopleiding bleef overigens, vanwege de ‘aard van het vak’, de roep om echt radicale veranderingen beperkt. En al heeft dat uiteindelijk bij lange na niet opgeleverd wat er van verwacht werd, en zijn veel vernieuwingen die daaruit resulteerden, grotendeels door dezelfde (nu echt aan de macht gekomen) mensen die er indertijd om vroegen, inmiddels weer helemaal of bijna helemaal teruggedraaid, toch heeft het statische onderwijssysteem van het verleden sindsdien voorgoed afgedaan. Met alle consequenties van dien, ook voor het voortgezet natuurkundeonderwijs, en zijn bijbehorende vakdidactiek.

1.2.3 ... en als natuurkundendidacticus

De ‘opleiding’

Naast dat van onderzoeker, was het enige andere beroepsperspectief dat van leraar. Daarvoor moest je nog een didactische aantekening halen, maar dat stelde niet veel voor. Een college algemene didactiek, een college vakdidactiek, en 60 uur hospiteren. En dat kon je er dus gemakkelijk even bij doen, als verzekering voor het geval je geen baan zou kunnen vinden in het onderzoek. Dat was in de jaren zestig overigens nauwelijks het geval en dus was er ook toen een groot tekort aan bevoegde natuurkundeleraren. Voor deze colleges gold trouwens alleen een aanwezigheidsverplichting, wat werd vastgesteld door middel van het plaatsen van je handtekening op een daartoe rondgaande lijst. De toenmalige vakdidactiekdocent had als gewoonte bij zijn binnenkomst deze lijst rechtsachter in de collegezaal af te geven. Helaas moet ik bekennen dat ik daarvan meerdere malen gebruik heb gemaakt om, door na het plaatsen van mijn handtekening, nog voor de aanvang van het college de zaal te verlaten. Als excuus kan ik alleen aanvoeren dat het min of meer een onderlinge wedstrijd was om van deze gelegenheid gebruik te kunnen maken. En het tekent de geringe status die deze didactische ‘opleiding’ onder velen van ons, toenmalige natuurkundestudenten, had. Zelf heb ik deze ‘opleiding’ pas gevolgd aan het eind van mijn promotietraject.

We schreven toen 1972-73 en het ging economisch slecht in ons land. Dat had direct zijn weerslag op de werkgelegenheid voor fysici. De universiteiten waren na de geweldige ‘boom’ van de jaren zestig vol, en hadden, net als de industrie, praktisch een personeelsstop. Gelukkig is er in dit soort sombere tijden altijd nog het onderwijs, ook al was het leraarsambt zeker niet mijn eerste roeping. Het was trouwens ook de tijd van de oprichting van de NLO's. De nieuwe tweede- en derdegraads lerarenopleidingen, waarin HAVO-gediplomeerden in vier jaar tijd voor twee verschillende vakken moesten gaan worden opgeleid, zowel inhoudelijk als didactisch, theoretisch en praktisch! Een opzet die bij velen de nodige twijfels opriep, maar gelukkig hadden ze, zoals bleek uit een advertentie, ook natuurkundedocenten nodig. Dat zou ongetwijfeld zeer veel ordeproblemen schelen, voor deze volstrekt onervaren docent-in-wording en dus reageerde ik op de oproep van de net in het leven geroepen SOL, de Utrechtse NLO-pondant. Tot mijn volstrekte verrassing kwam enige tijd daarna mijn vroegere onderzoeksbegeleider, Dr. Hooymayers, bij me op het lab, met de mededeling: ‘Ik heb een baan voor je!’ Hooymayers was inmiddels hoofd van de Utrechtse natuurkundedidactiek en had net een vacature in zijn groep. Naar zijn mening had die groep behoefte aan fysieke versterking, en als lid van de SOL-sollicitatiecommissie had hij mijn brief gelezen. Vandaar dus!

Maar werken bij natuurkundedidactiek? Dat obscure clubje, dat ver onderaan de fysieke pikorde en statusladder hing? Didactiek, dat was toch helemaal geen vak? Wat kon dat in hemelsnaam inhouden? In ieder geval dat ik, als succesvolle onderzoeker, juist niet meer zou kunnen onderzoeken, want dat was daar natuurlijk helemaal niet aan de orde. En dat was toch juist mijn sterkte? Aan de andere kant was het aanbod rechtspositioneel en financieel zo aantrekkelijk dat ik, zij het met de nodige aarzeling, toch die gok heb gewaagd. Dus was ik, in ieder geval voor het oog van de buitenwereld, vanaf dat moment natuurkundedidacticus. Hoe raar kan het lopen in een leven!

De beginsituatie

Deze gang van zaken illustreert dat natuurkundedidacticus één van die kwalificaties is die je, ook nu nog, niet krijgt toebedeeld op grond van enige verworven deskundigheid, maar per decreet. Pas na je aanstelling als zodanig moet je je de bijbehorende deskundigheid gaan verwerven, terwijl eigenlijk niemand wist, of weet, wat die precies inhield.

Waar hielden natuurkundedidactici zich toen zoal mee bezig? Allereerst dient gezegd dat het aantal van hen toen minimaal was. Aan het gros der universiteiten ging het om een éénmanszaak, en dan nog meestal in een kleine deeltijdaanstelling. Aan de VU en later in Eindhoven, kwam er enig perspectief voor groei, maar alleen in Utrecht was een groep van enige omvang aanwezig⁵. Dit ongetwijfeld dankzij de pioniersrol die Minnaert daar had vervuld⁶, al is dat ook daar vast niet zonder slag of stoot gegaan.

⁵ De toenmalige officiële natuurkundedidactiekdocenten waren: Frederik (UvA), Van der Kooi (RUG), Van Vianen (RUL), Raat (VU), Steller (TUE), Smit-Miessen (RUN), Coenen (TUD), Krammer (UT), Krans (en daarna dus Hooymayers) (RUU).

Daarnaast was (en is) er de landelijke Werkgroep Natuurkunde-Didactiek. Deze groep was in de jaren vijftig opgericht als platform voor pioniers en visionaire vernieuwers van het natuurkundeonderwijs.

⁶ L. Molenaar (1998). *Minnaert, een leven lang leraar*. Rijswijk: Elmar.

Een persoonlijke introductie

Immers, in 1922 verwierp de faculteit Wis- en Natuurkunde van de Rijksuniversiteit Utrecht nog een voorstel tot het geven van colleges in de didactiek der natuurkunde omdat “het toch meestal de slechte leraren zijn die zich met didactiek bezig houden”. Een opvatting die ik in de loop de jaren (als grap?) nog vaak heb mogen vernemen. Naast natuurlijk hun werk als lerarenopleider, waren de toenmalige vakdidactiekdocenten, voor zover er nog tijd over was, vooral service-verlenend aan het onderwijsveld. Het schrijven van leerboeken was een belangrijke activiteit, het adviseren over programma’s en examens naast het adviseren van docenten, alsmede het werk in allerlei commissies⁷.

De Utrechtse groep was toen actief in het ontwikkelen van meer geavanceerde leerling- en demonstratie-experimenten, dat was eigenlijk de taak waar ik voor was aange trokken, en had zich bovendien een soort ‘consumentenbondfunctie’ toegemeten in het volgen van buitenlandse ontwikkelingen en het beoordelen van daar ontworpen apparatuur, experimenten en nieuwe behandelwijzen op hun geschiktheid voor de Nederlandse situatie. Als belangrijke nieuwe activiteit was, begin jaren zeventig, juist het ISP ontwikkeld⁸, en was er met het oog op de toekomst zelfs gestart met COO (computerondersteund onderwijs). Maar de klap op de vuurpijl werd toch wel verwacht van het PLON-project (zie volgende hoofdstukken) dat in 1972 bescheiden met drie man aan zijn proefjaar was begonnen. Als professioneel curriculumontwikkelingsproject zou het uitgroeien tot een langdurige activiteit van aanzienlijke omvang.

Hieruit zien we hoe, naast initiële lerarenopleiding en praktijkondersteuning (met bij en nascholing), curriculumontwikkeling als derde vakdidactisch werkgebied ontstond. Het vierde, vakdidactisch onderzoek, zat er aan te komen, maar vooralsnog ging de aandacht eerst uit naar een professionelere opleiding van leraren. In de geschetste toenmalige ‘opleiding’ was een natuurlijke taakverdeling aanwezig. Omdat de natuurkundedidactiekdocenten bij voorkeur ervaren leraren waren, bestond hun onderwijs uit het doorgeven van hun praktijkervaring, veelal in de vorm van didactische vuistregels en adviezen. De ‘algemene didactiek’ had de taak deze praktijkkennis wetenschappelijk met behulp van ontwikkelingspsychologische en pedagogische theorie te onderbouwen. Van een echte theorie-praktijkkoppeling was echter geen sprake.

Het onbevredigende karakter hiervan was langzamerhand wel iedereen duidelijk geworden, en daarom werd er in Utrecht gewerkt aan de ontwikkeling van een opleiding ‘nieuwe stijl’. Een aanvankelijk drie maanden fulltime durende opleiding die studenten vrijwillig konden volgen en waarvoor ruime belangstelling bleek te zijn. Kenmerk hiervan was, naast uiteraard een veel grotere diepgang, het streven naar praktijktheorie-integratie. Vanaf de start van deze meer geprofessionaliseerde lerarenopleiding, veranderde ook de rol van de vakdidactiek. Natuurlijk ging het nog steeds om de praktijkkennis die, en het vakmanschap dat, de schoolpracticumdocent en insti-

⁷ Voor een praktisch overzicht van het werk in de natuurkundedidactiek, zie: H.M.C Eijkelhof & J.F. Schröder (1996). Dertig jaar natuurkundedidactiek in Nederland. In: P.L. Lijnse & Th. Wubbels (Red.), *Over natuurkundedidactiek, curriculumontwikkeling en lerarenopleiding*. Utrecht: CD-β Press.

⁸ Dit Ioniserende Straling Project is dus al ruim veertig jaar actief, met het dagelijks bezoeken van scholen in het hele land met een stralingspracticum. Een geweldige prestatie.

tuutsbegeleiders aandroegen⁹, maar daarnaast werd ‘verwetenschappelijking’ gezocht in de vorm van op het schoolvak toegespitste *toegepaste onderwijskunde*¹⁰. Internationaal gezien werd dit laatste niet alleen gestimuleerd door de ontwikkeling van de onderwijskunde, maar vooral ook door het beschikbaar komen van producten van groot-schalige curriculumontwikkelingsprojecten voor het onderwijs in de exacte vakken¹¹ (bijvoorbeeld: PSSC-Physics, Harvard Project Physics, Nuffield O and A Level Physics, etc.; in ons land vooral PLON en DBK). Deze producten vonden hun weg naar de didactici in de lerarenopleiding (anderen waren er immers nog niet), die er scholing en nascholing over gingen verzorgen. En aangezien deze projecten ook gebaseerd waren, of claimden te zijn, op onderwijspsychologische theorieën van mensen als Bloom, Gagné, Piaget en Bruner, moesten ook de vakdidactici zich hier wel in gaan verdiepen. Internationaal bleek het voor de ontwikkeling van de vakdidactiek echter minstens zo belangrijk dat door deze projecten, behalve curriculummaterialen, een groep mensen beschikbaar was gekomen die zich voor het eerst, anders dan op onderwijspraktijkniveau, beroepsmatig in vakdidactische problemen had moeten verdiepen. En die ook onderzoekservaring hadden opgedaan met het uittesten, scholen en evalueren van en voor de betreffende projecten. Hieraan is de opkomst van een groep ‘science and mathematics educators’ te danken, die zich sindsdien professioneel (ook) is gaan bezighouden met vakdidactisch onderzoek. Althans, voor zover we ‘research in science education’ hiermee mogen gelijkstellen.

Daarmee werd vakdidactiek, althans in principe, ontkoppeld van ‘datgene wat lerarenopleiders doen’. Een vakdidacticus hoefde niet meer noodzakelijkerwijs tegelijkertijd een lerarenopleider te zijn. Een soortgelijke ontwikkeling heeft zich, zij het met enige vertraging in de tijd, ook in ons land voorgedaan. Zo heeft vakdidactisch onderzoek zich, zij het op uiterst bescheiden schaal, ook in ons land langzamerhand ontwikkeld tot een min of meer ‘reguliere’ activiteit.

Curriculumontwikkeling als leerschool

In deze schets past ook mijn eigen didactische ontwikkeling. Naast het zoeken naar nieuwe geavanceerde bovenbouwexperimenten, een taak waarvan ik al snel het grote nut niet meer inzag, was ik mee gaan doen met het Quantummechanica-experiment van de CMLN (Commissie Modernisering Leerplan Natuurkunde). De CMLN had, in het kader van de opzet van keuzegroepen (zie hoofdstuk 2), een experiment georganiseerd om na te gaan of QM haalbaar zou zijn op het VWO. Daarvoor was door twee ervaren leraren een lestekst ontwikkeld, maar die stuitte op nogal wat verzet van anderen, zodat besloten was nog een tweede tekst te laten schrijven. En daaraan zou ik, samen met twee jonge docenten, mee gaan doen vanwege de noodzakelijke fysische

⁹ Voor een beknopte geschiedenis van de lerarenopleiding, zie: S. ten Brinke, A.E. van der Valk & H.A. Créton (1996). *Ontwikkeling van de Utrechtse lerarenopleiding*. In: P.L. Lijnse & Th. Wubbels (Red.), *Over natuurkundendidactiek, curriculumontwikkeling en lerarenopleiding*. Utrecht: CD-β Press.

¹⁰ J.A. Schraag, E.J. Hendriks & J. van der Rijst (1976). *Toegepaste onderwijskunde voor de natuurwetenschappen*. Groningen: Wolters-Noordhoff.

Vakgroep Natuurkunde-Didactiek (1977). *Didactiek van de natuurkunde: een verzameling artikelen*. Utrecht: RUU.

¹¹ Deze zullen in volgende hoofdstukken uitvoerig aan de orde komen.

Een persoonlijke introductie

input! Dat bleek voor mij uiterst leerzaam. In de eerste plaats bleek het lang niet voor iedereen vanzelfsprekend te zijn om zo'n lestekst niet top-down vanuit het formalisme van de fysica te schrijven (zoals de al bestaande tekst), maar, zoals wij vonden dat het moest, bottom-up vanuit het (veronderstelde) denken van de leerlingen. En met meer nadruk op de diepere betekenis van het formalisme dan op het kunnen hanteren daarvan. In de tweede plaats werd het me duidelijk dat je voor zo'n doel een wel zeer diepgaand inzicht in, en overzicht van, de natuurkunde moest hebben. Iets wat mijn eigen mogelijkheden duidelijk te boven ging, maar gelukkig bleken er buitenlandse projecten te zijn, waarvan de schrijvers dat wel hadden. En dat was dan mijn derde leerervaring: er bleek ook voor dit werk zelfs een internationaal circuit te zijn, net als voor mijn eerdere onderzoek. Het experiment was overigens behoorlijk succesvol, onze tekst scoorde goed, beter dan de andere, bij leerlingen en docenten. Desalniettemin heeft de CMLN er toch niets mee gedaan, volgens de wandelgangen omdat het onderwerp niet goed examineerbaar zou zijn. Maar ik heb er wel mijn eerste internationale conferentiepresentatie over didactiek aan te danken¹². Uiteindelijk heb ik deze ervaring nog kunnen gebruiken als bron voor een populariserend boekje over QM.¹³

Zo raakte ik er wel van overtuigd dat het ook mogelijk moest zijn om vakdidactisch onderzoek te gaan doen. Sterker, er bleken zelfs tijdschriften en conferenties te zijn die daar helemaal aan gewijd waren, alleen in ons land was daar toen nog weinig of geen belangstelling voor. Als proefproject heb ik toen, met behulp van een vertaalde Amerikaanse vragenlijst, gewerkt aan een onderzoek naar het beeld dat leerlingen van 'natuurkunde als wetenschap' krijgen op school. Mijn controlegroepen bestonden enerzijds uit natuurkundeleraren, en anderzijds uit universitaire fysici. Dit kwam me op een reprimande te staan van een zwaargewicht-hoogleraar van de Utrechtse subfaculteit, die zich afvroeg of ze bij didactiek nu echt niets beters te doen hadden dan dit soort prul-onderzoek. Achteraf moet ik hem, zij het om heel andere redenen, nog gelijk geven ook. Het is immers heel moeilijk om met vragenlijsten een valide beeld te krijgen van wat leerlingen (of mensen überhaupt) nu écht denken, zeker over zoiets vaags als 'wetenschap'. Gelukkig raakte ik toen, wederom vanwege de fysische inbreng, betrokken bij het HAVO-bovenbouw project van het PLON. Opnieuw, een uiterst leerzame ervaring. Allereerst moesten wij een visie ontwikkelen op het HAVO-bovenbouw natuurkundeonderwijs. Met een ontwikkelgroep die bestond uit zeer verschillende persoonlijkheden, met zeer verschillende achtergronden en opvattingen, was dat bepaald niet eenvoudig. Urenlange boeiende discussies, die zich uitstrekten over vele maanden, bleken nodig voordat er eindelijk een blauwdruk voor een curriculum op tafel lag. Het was immers de tijd waarin maatschappijkritiek en onderwijspoli-

¹² P.L. Lijnse (1975). On the Dutch programme for the introduction of QM at secondary schools. In: G. Marx (Ed.), *Atoms in the School* (pp. 200-211). Budapest: Eotvos University.

P.L. Lijnse (1975). Enkele ideeën omtrent een keuzegroep quantummechanica. *Faraday*, 44, 144-148.

¹³ P.L. Lijnse (1981). *Kwantummechanica: een eenvoudige inleiding*. Utrecht: Spectrum – Aula Paperback nr. 60. Op <http://blogs.discovermagazine.com/cosmicvariance/2006/09/28/quantum-mechanics-made-easy> is het volgende te lezen: "The best introduction to Quantum Mechanics for laypersons I have ever read unfortunately exists only in Dutch..." Een beetje overdreven, maar wel leuk! Zie ook: www.ecent.nl/artikel/2632/Kwantummechanica+in+het+voortgezet+onderwijs/view.do

tieke vernieuwing hoog op de agenda stonden¹⁴. Bovendien moest er een écht ‘HAVO-curriculum’ gemaakt worden, ook al kon niemand ons vertellen wat nu precies de kenmerken waren van ‘de’ HAVO-leerling. De onderlinge gesprekken en de discussies met de proefschoolleraars, waren voor iedereen uiterst leerzaam en noopten tot relativering van al te gemakkelijk ingenomen persoonlijke standpunten. Voor diepgaander vernieuwing is zo’n periode van visievorming en teambuilding volstrekt noodzakelijk, ook al is dat voor de buitenwereld vaak niet duidelijk. Zo snapten Utrechtse collega-fysici volstrekt niet waarom dat ‘schrijven van leerboekjes’, zoals zij het noemden, toch zolang moest duren! Ook het schrijven zelf bleek een leerzame activiteit. Hoe mooier de ontwikkelde visie, hoe moeilijker om die didactisch goed uitgewerkt te krijgen in een voor docenten en leerlingen hanteerbare en begrijpelijke vorm. Het maken van een contextrijk curriculum, wat hét kenmerk was van het PLON, vraagt om expertise die je je eerst eigen moet maken. Dat betreft zowel inhoudelijke kennis van en omtrent de gekozen contexten, als didactische kennis en ervaring om deze vervolgens met voldoende kwaliteit te kunnen didactiseren. En dan moet je ook nog goed en helder kunnen schrijven. Iets waarvoor bevestiging voor de betreffende onderwijsvernieuwing een onvoldoende voorwaarde bleek te zijn. Kortom een leerproces, dat vraagt om ruimte voor proefversies, uittesten, kritische analyse, reflectie en alles opnieuw en dan beter doen! Leren van ervaring, dus! Dat gold voor de ontwikkelaars, maar zeker net zo goed voor de proefschooldocenten. Ofwel, ‘curriculum ontwikkelen’ is een vak, en naar mijn ervaring ook nog een heel moeilijk vak, dat je alleen maar kunt leren in de praktijk! Ik schrijf dit met enige uitgebreidheid en nadruk, omdat, mijns inziens, de moeilijkheid van dit vak schromelijk onderschat wordt. Met name door subsidiegevers. Alle grootschaliger curriculumprojecten, die de laatste jaren aan de orde zijn geweest, hebben, onder andere om deze reden, te lijden gehad onder onderfinanciering. Er moet altijd teveel in veel te weinig tijd en dat wrekt zich onvermijdelijk in de kwaliteit van de opgeleverde producten. Het is uitstekend, zoals ‘hogehand’ tegenwoordig propageert, om docenten te beschouwen als professionals, maar juist ten aanzien van curriculumvernieuwing kan dat, per definitie, nog niet het geval zijn.

De opgang

Eind jaren zeventig veranderde er veel in onderwijsland. De verzorgingsstructuur, een kindje van Van Kemenade, werd ingevoerd. De NLO’s waren er voor de tweede- en derdegraads lerarenopleiding. Het CITO was opgericht voor het toetsen en de examens. De SLO werd opgericht voor de leerplanontwikkeling en vanwege de landelijke spreiding naar Enschede verbannen. De begeleiding van scholen bij de implementatie van vernieuwingen en bijbehorende na- en bijscholing werd toegekend aan de LPC’s (de landelijke pedagogische centra), de verspreiding was voor de educatieve uitgeverijen. Voor de universiteiten bleef, naast de eerstegraadslerarenopleiding, alleen de taak van het onderwijsonderzoek. Het argument hiervoor was dat deze specialisering de noodzakelijk geachte professionalisering zou bevorderen en dus zou leiden tot kwali-

¹⁴ P.L. Lijnse (1980). Onderwijsvisie en HAVO-bovenbouw. Verslag PLON-HBB-conferentie, 3-20.
P.L. Lijnse(1983). Physikumterricht in einer sich wandelnden Gesellschaft. *Physica Didactica*, 10, 43-60.

Een persoonlijke introductie

teitsverhoging. Een eerste voorbeeld van hoe *alle* maatregelen sindsdien altijd hebben moeten leiden tot kwaliteitsverbetering! Desalniettemin heeft met name het toenmalige Wiskobas-team, onder leiding van Freudenthal, dat zich inmiddels een reputatie had verworven met het vernieuwen van het reken/wiskundeonderwijs, zich hier met hand en tand tegen verzet. Het argument van Freudenthal c.s. was dat voor succesvolle onderwijsvernieuwing al deze activiteiten juist optimaal geïntegreerd en op elkaar afgestemd moeten plaatsvinden. Ze beïnvloeden en versterken elkaar, de een kan niet zonder de ander, en omgekeerd. Hoezeer zij daarin, mijns inziens, ook gelijk hadden, hun instituut (het IOWO, Instituut voor Ontwikkeling van Wiskunde Onderwijs) werd gewoon opgeheven. Het PLON viel ook onder deze structuurverandering en moest eigenlijk verhuizen naar Enschede, maar met kracht van argumenten, onder andere dat het toch ging om een tijdelijk project, is bereikt dat ze hun werk in Utrecht mochten afmaken.

Deze focusering op onderzoek ging gepaard met de invoering van nieuwe regels. In de jaren zeventig was je aan de universiteit nog vrij om te doen (en te laten) wat je wilde. Als onderzoeker had je een beperkte onderwijstaak en de rest van je tijd kon je aan je onderzoek besteden. Behalve aan je hoogleraar hoefde je geen enkele verantwoording af te leggen over je voortgang of je publicaties. En die hoogleraar zelf al helemaal aan niemand. Er was dus geen enkele externe controle of sturing. Tegen deze vrijheid en tegen de 'ivoren toren mentaliteit', kwam echter steeds meer maatschappelijk verzet, dat zich uitte in een steeds sterkere vraag naar maatschappelijk relevant onderzoek (wat dat ook moge zijn). Als gevolg daarvan, en gestimuleerd door bezuinigingen, werd er begin jaren tachtig een systeem van voorwaardelijke onderzoeksfinanciering ingevoerd (vormgegeven in zogenoemde VF-programma's), in feite een vorm van kwaliteitsbewaking. Dit hield in dat alle onderzoek gebundeld moest worden in *programma's* met een behoorlijke minimale personele omvang, die vijfjaarlijks zouden worden beoordeeld door onafhankelijke commissies op hun programmatische voortgang, internationale positie en onderzoeksoutput. Alleen onderzoekers in goedgekeurde programma's zouden nog financiering kunnen krijgen voor hun onderzoekstijd. Dit had ook grote gevolgen voor de universitaire vakdidactici en lerarenopleiders. Ook hun 'onderzoek' moest, wilde het althans in enige omvang kunnen blijven plaatsvinden, gebundeld worden in goedgekeurde onderzoeksprogramma's, en daardoor de status van echt onderzoek gaan krijgen. Voor ieder die enigszins bekend is met de versnipperde en kleinschalige wijze waarop de vakdidactiek in ons land plaatsvond (en vindt), zal het duidelijk zijn dat dit geen gemakkelijke opgave was. Ook al was er inmiddels al wel wat meer aandacht voor onderzoek ontstaan. Bijvoorbeeld aan de VU (DBK), in Utrecht (evaluatieonderzoek van het PLON) en in Eindhoven (practicum). Ook de benoeming van lectoren (vanaf 1980 hoogleraar) in Utrecht en Eindhoven gaf hieraan meer impuls. In Utrecht heeft deze VF-invoering geleid tot de vorming van, landelijk gezien, het voor de natuurwetenschappen enige didactische onderzoeksprogramma 'Begripsontwikkeling en Curriculumonderzoek in de Wiskunde en Natuurwetenschappen'. Hierin gingen biologie-, natuurkunde-, scheikunde- en wiskunde-didactici samenwerken (voornamelijk van de UU, maar versterkt met enkelingen van de VU en de UvA), zonder dat er overigens sprake was van enige gemeenschappelijke

onderzoekstraditie. Op sommige andere plaatsen leidde dit aanvankelijk tot de expliciete beslissing dat men helemaal geen vakdidactisch onderzoek mócht doen. Maar zelf moest ik, als gevolg van deze ontwikkeling, mijn PLON-werk geleidelijk afbouwen en me gaan richten op het opzetten en begeleiden van onderzoek. Een mooie uitdaging, vond ik zelf, al was het aanvankelijk wel een beetje tasten in het duister!

Hoe dan ook, dit was zonder meer een cultuurschok. Ineens werd je beoordeeld op je (Engelstalige) publicaties, op je inhoudelijke bijdrage aan het programma, en op de voortgang van en samenhang in het programma, etc., ook al werd de soep niet direct op zijn heetst gegeten. Vaste medewerkers moesten eigenlijk gepromoveerd zijn, of dat alsnog gaan worden, ook al waren ze helemaal niet voor hun onderzoekscapaciteiten aangetrokken. Voor de traditionele veldondersteuning en advisering was eigenlijk geen tijd meer. Dat was immers geen onderzoek, dus daar was geen financieringsruimte meer voor. Terwijl het onderzoek dat gedaan ging worden, hoe praktijkrelevant misschien ook in de ogen van de uitvoerders, toch altijd nog een behoorlijke afstand had tot diezelfde praktijk.¹⁵ Dat is nu eenmaal een kenmerk van onderzoek. Dat gaat smal, diep en langzaam, terwijl de praktijk vraagt om snel, breed en direct bruikbaar. Omdat er voor dat onderzoek in ons land eigenlijk geen publicatiemedium was, en dus wat dat betreft volledig onzichtbaar dreigde te worden voor het onderwijsveld, heb ik toen voorgesteld het ‘Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen’ op te richten. Omdat het beoogde aantal abonnees bij lange na nooit gehaald is, is het op zijn minst twijfelachtig of dat wel echt geholpen heeft.

De problematische afstand onderzoek-praktijk kwam, bijvoorbeeld, sterk naar voren in de belangstelling voor nascholing. Toen het ging om inhoudelijke cursussen, bijvoorbeeld over het PLON, de CMLN-keuzegroepen of WEN-onderwerpen, was hier voor ruime belangstelling, maar toen er nascholing werd aangeboden over ‘begripsontwikkeling’, een onderwerp dat direct resulteerde uit ons onderzoek, bleek hierin geen hond geïnteresseerd (en ook geen docent trouwens!). Begrijpelijk dat in die jaren docenten me regelmatig de vraag stelden: ‘Waarom doen jullie in Utrecht toch niets nuttigs meer voor de praktijk?’

De hoogtijdagen

Inmiddels was ook de eerstegraadslerarenopleiding drastisch veranderd. Eind jaren tachtig werd de postdoctorale opleiding ingevoerd, die een jaar in beslag nam. Het systeem van ‘voorwaardelijke financiering’ werd weer afgeschaft en vervangen door landelijke visitaties per discipline, onderzoek en onderwijs apart. Het universitaire onderwijs moest georganiseerd gaan worden in onderwijsinstututen, het onderzoek in onderzoeksinstitututen en onderzoeksscholen. Het laatste om aio-opleidingen van ‘voldoende kwaliteit’ mogelijk te maken. Het zal duidelijk zijn dat dit soort beleidsmatige veranderingen geen rekening hield met kleinschalige activiteiten. Zo kreeg in Utrecht de kleine succesvolle groep ‘Grondslagen van de Natuurkunde’ de aparte status van ‘universitair pareltje’ toegemeten, maar dat zat er voor de natuurkundedidactiek uiteraard niet in. Het natuurkunde-didactisch onderzoek had dan ook moeite om in dit

¹⁵ Voor een overzicht van het vroege onderzoek, zie: P.L. Lijnse (1995). Natuurkunde-didactisch onderzoek: de moeite waard? *TD- β , 13*, 147-164.

Een persoonlijke introductie

organisatorische geweld overeind te blijven. Natuurlijk, voor de lerarenopleiding had je vakdidactiek nodig, maar verder? Gelukkig had de Utrechtse bètadidactiek zich inmiddels gebundeld in het Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen, kortweg CD- β . In feite een federatief samenwerkingsverband tussen het toenmalige Freudenthal Instituut en de natuurwetenschappelijke vakdidactiekgroepen¹⁶. Een voorbeeld dat een aantal jaren later gevolgd werd door onze Amsterdamse collega's, die zich bundelden in het AMSTEL-instituut, dat zich zowel landelijk als internationaal faam heeft verworven met het ontwikkelen van ICT-toepassingen voor het bètaonderwijs.

De oprichting van CD- β markeert, mijns inziens, de kortstondige 'hoogtijperiode' van het bètadidactisch onderzoek in ons land. In de jaren tachtig was er, door de opkomst van het constructivisme (zie latere hoofdstukken), internationaal een onderzoekstrend ontstaan waarin het *inhoudelijke* denken van leerlingen centraal stond. Dat gaf niet alleen een gemeenschappelijke richting en stimulans aan het onderzoek, maar juist ook inhoudelijk een bij uitstek bètadidactische optiek. Tegelijkertijd nam ook de omvang van de onderzoeksinspanning, met name in veel Europese landen, aanzienlijk toe, wat 'gehonoreerd' werd door de oprichting van tweejaarlijkse Europese zomerscholen voor PhD's¹⁷ (mijn succesvolste initiatief!) en de 'European Science Education Research Association'. Ons 'eigen' onderzoeksprogramma sloot, in principe, naadloos bij deze ontwikkelingen aan en ontwikkelde zich redelijk voorspoedig, dankzij een goede onderlinge samenwerking. Belangrijk was ook onze interne organisatie. Het Centrum werd gevormd door vier groepen die ieder deel uitmaakten van hun eigen (toen nog) subfaculteit. Ofwel, de bètadidactiek was bij ons disciplinegewijs georganiseerd, wat nog onderstreept werd door de aanwezigheid van vier gewone hoogleraren. Ieder aangesteld voor de didactiek van zijn eigen vak, later nog aangevuld met drie bijzondere hoogleraren. Eén van de toen ingestelde bijzondere leerstoelen is trouwens voor mij van bijzondere betekenis geweest. Ik doel hier op de door de Werkgroep Natuurkunde-Didactiek ingestelde leerstoel 'De ontwikkeling in onderwijssituaties van natuurkundige begrippen en werkwijzen', die ik van 1991 tot 2001 heb mogen bezetten.

De zojuist beschreven structuur was niet ongebruikelijk in sommige continentaal Europese landen, zoals bijvoorbeeld ook in Duitsland, maar week en wijkt sterk af van die in het Angelsaksische deel van de wereld. Daar werd en wordt de vakdidactiek ondergebracht in 'schools of education', dus tezamen met lerarenopleidingen, onderwijskunde en pedagogiek. Dit heeft belangrijke consequenties voor het onderzoek wat gedaan wordt. Ieder mens is immers geneigd te streven naar waardering van zijn omgeving, van zijn 'peers', en dat betekent dat je je altijd voor een groter of kleiner deel aanpast aan de omgeving waarvan je afhankelijk bent. Als je 'peers' (en leidinggevend) fysici zijn, dan werk je als natuurkundededidacticus vanuit een andere optiek en kies je andere onderwerpen om te onderzoeken, dan wanneer je 'peers' (en je bazen) onderwijskundigen zijn. In het eerste geval kom je uit bij vakinhoudsspecifieke onderwerpen, échte vakdidactiek dus, in het tweede geval bij toegepast onderwijskundig

¹⁶ P.L. Lijnse & W. de Vos (Red.) (1990). *Didactiek in perspectief*. Utrecht: CD- β Press.

¹⁷ P.L. Lijnse (Ed.) (1993). *European Research in Science Education*. Utrecht: CD- β Press.

onderzoek. Dat is geen kwestie van muggenziften over woorden, maar kenmerkt een duidelijk inhoudelijk verschil in referentiekader. Het één is niet belangrijker dan het andere, maar de ontwikkeling van een vakdidactiek kan niet zonder het vakinhoudsgerichte onderzoek¹⁸. Als dat ontbreekt, (en als ‘wij’ dat niet doen, wie doet het dan wel?) is er ook geen vakdidactische vooruitgang mogelijk. Uit het in latere hoofdstukken te bespreken onderzoek zal blijken dat juist in de Angelsaksische bètadidactische wereld een fascinatie aanwezig lijkt met theorieën uit de filosofie, sociologie en psychologie, die, hoe interessant op zich ook, te vaak leidt tot beschouwingen waarin de vakinhoudelijke problematiek slechts gebruikt wordt als illustratie van ‘het hogere’¹⁹. De praktijkrelevantie, die toch al vaak zo problematisch is, wordt daarmee, zacht gezegd, niet echt gediend. Vandaar dat we in Utrecht deze discipline-gebonden organisatie (en hoogleraren) als een belangrijke verworvenheid beschouwden. Bovendien, onderdeel zijn van een ‘harde’, relatief rijke, bèta-subfaculteit had ook andere voordelen, namelijk dat je behandeld werd als één van hen als het ging om de verdeling van personele (met name aio’s) en financiële middelen. Met overigens als direct nadeel dat je bij beoordelingen ook gemeten werd met de ‘harde’ normen van het bètaonderzoek. Als bètadidacticus zat je altijd in een spagaat. De faculteit hield je eigenlijk alleen in leven als je kon aantonen voldoende invloed te hebben op het natuurkundeonderwijs, wat zou kunnen leiden tot meer studenten naar Utrecht. Dus moest je steeds laten zien wat je wel niet allemaal deed voor dat onderwijs. Onderzoek speelde daarin geen rol. Maar bij beoordelingen werd je ineens behandeld als een onderzoeksgroep van in potentie internationale reputatie. In de voorbereidende verslaglegging moest je uitgebreid beschrijven hoeveel je publiceerde en hoe groot je invloed daar wel niet was. Tegelijkertijd werd de inhoud van je onderzoek door de fysici eigenlijk nooit echt serieus genomen.

Inmiddels was echter het excellentie-virus opgedoken en dat begon om zich heen te slaan. Ineens moest iedereen excellent zijn of worden, leerlingen, studenten, docenten, maar in het bijzonder natuurlijk onderzoekers. Van die laatsten werd dat gemeten volgens verschillende criteria. Naast de hoeveelheid publicaties, werd het ook heel belangrijk dat je zitting had in toonaangevende commissies en tijdschriftredacties. En vooral een grote ‘earning capacity’, ofwel dat je voldoende in staat was om extra gelden te verwerven uit Europese en nationale onderzoekspotten en uit beschikbare projectsubsidies. Helaas, dat was voor mij niet weggelegd. Want hiervoor moet je kunnen netwerken, zoals dat nu heet. Zorgen dat je de juiste mensen, op de juiste tijd en plaats tegenkomt en hen dan ook nog ‘toevallig’ durven aanschieten voor een ‘nuttig’ gesprek. Om samenwerkingsrelaties en goodwill te kweken helpt een al te kritische inhoudelijke instelling je niet echt verder! Kortom, dit was voor mij, als sociaal toch wat gedepriveerde persoonlijkheid, duidelijk teveel gevraagd. Daar kwam nog bij dat ik, in navolging van mijn promotor, van de veel te naïef gebleken veronderstelling uitging,

¹⁸ P.L. Lijnse & H.P. Hooymayers (1987). Natuurkunde-didactiek: een interdiscipline in ontwikkeling? In: I. Mottier & M.J. de Vries (Red.), *Vakdidactisch beraat* (pp. 101-128). Zoetermeer: Adviesgroep Leermiddelen. Hierin hebben we vier categorieën vakdidactisch onderzoek onderscheiden, variërend van ‘toegepaste onderwijskunde’ tot ‘onderwijspecifieke vakreflectie’.

¹⁹ P.L. Lijnse (2000). Didactics of science: the forgotten dimension in science education research? In: R. Millar, J. Leach & J. Osborne (Eds.), *Improving Science Education* (pp. 308-326). Buckingham: OUP.

Een persoonlijke introductie

dat in de wetenschap je prestige in de eerste plaats afhangt (en ook dient af te hangen) van de inhoudelijke kwaliteit van je werk, en niet van hoe je jezelf kunt verkopen. Dit bleek een misvatting en als gevolg daarvan heb ik, wat dit belangrijke aspect van mijn werk als hoogleraar betreft, dan ook grotendeels gefaald.

De teruggang?

Ik beschrijf dit allemaal zo uitvoerig omdat, zoals nu zal blijken, de ondanks alles relatief gunstige situatie voor bètadidactisch onderzoek, inmiddels aanzienlijk veranderd is. Omdat de bètadidactici aanvankelijk geen deel uitmaakten van een onderzoeksinstituut of een onderzoekschool was het in principe onduidelijk hoe hun onderzoek gevisiteerd moest gaan worden. De eerste keer werd besloten om dit te laten plaatsvinden tezamen met de visitatie van de lerarenopleiding. Dit had trouwens een onverwacht, in eerste instantie gunstig, effect. Vanwege de concurrentie tussen de universiteiten ten aanzien van het mogen hebben van een lerarenopleiding, werd het beoefenen van vakdidactisch onderzoek welhaast tot een selectie- en kwaliteitscriterium. Niet alleen moesten de universiteiten hun lerarenopleidingen serieus gaan nemen, zij moesten ook, voor zover ze dit nog niet eerder gedaan hadden, gaan investeren in vakdidactisch onderzoek. Dit alles houdt in dat ondanks de hierboven beschreven principiële ont koppeling van lerarenopleiding en vakdidactisch onderzoek, deze koppeling, vanwege de beschreven institutionele belangen, in ons land nu welhaast nog sterker is geworden dan vroeger al het geval was. Het betekent ook dat, vanwege diezelfde belangen en vanwege haar kleinschaligheid, de vakdidactiek op veel plaatsen in feite is ondergebracht bij een overkoepelend instituut voor de lerarenopleiding, al of niet in de vorm van een 'school of education'. Juist voor de inhoudelijke ontwikkeling van haar onderzoekscomponent is dat, om de eerder beschreven reden, niet gunstig. Dit alles is nog versterkt door de invloed van een nieuwe recente golf van bezuinigingen. De bètafaculteiten in Utrecht en Amsterdam hebben zich bezonnen op hun 'core business'. Als gevolg daarvan is het AMSTEL-instituut opgeheven, en wordt er momenteel drastisch bezuinigd op het FISme²⁰. Eén van die bezuinigingen is dat er van de vier gewone hoogleraarposten die er waren, naar alle waarschijnlijkheid nog maar één zal overblijven. Ofwel, ook in Utrecht zal, net als op sommige andere plaatsen, alleen nog ruimte zijn voor één hoogleraar bètadidactiek, die dan ook nog voornamelijk manager zal moeten zijn. Bovendien zal er geen ruimte meer zijn voor 'eerste geldstroom' aio's, zodat er geen 'fundamenteel' didactisch onderzoek meer zal plaatsvinden. Omdat het tweede geldstroom onderzoek (NWO-PROO) volledig in handen is van de onderwijskunde, is ook vanuit die bron geen financiering van fundamenteel vakdidactisch onderzoek meer te verwachten. Dat zal altijd toegepast onderwijskundig moeten zijn. Resteert alleen derde geldstroom onderzoek, wat grotendeels bestaat uit korte termijn ontwikkelprojecten. In feite komen deze projecten vaak neer op ad hoc activiteiten, 'meer van hetzelfde', al wordt het dan wel onder een nieuwe modieuze vlag verkocht. Op zich zijn zulke derde geldstroom projecten uitstekend, omdat daarmee een brug geslagen kan worden tussen het fundamentele onderzoek en de onderwijspraktijk. Als

²⁰ FISme staat voor Freudenthal Institute for Science and Mathematics Education, het instituut waarin alle Utrechtse bètadidactici voor het VO nu zijn ondergebracht.

de voeding uit het fundamenteel onderzoek echter ontbreekt, wordt het belang van derde geldstroom projecten vooral een kwestie van het in stand houden van werkgelegenheid. Hoe belangrijk op zich ook, de toekomst voor een verdere wetenschappelijke uitbouw van de vakdidactiek wordt daar nauwelijks door gediend. Kortom, de 'hoogtijdagen' van de 'discipline-based' bètadidactiek in ons land lijken voorbij. Uitermate ironisch om te bedenken dat momenteel elders, bijvoorbeeld in de USA, juist een beweging gaande is in precies de tegenovergestelde richting!²¹

Vooruitgang?

Daarmee ben ik bijna aan het eind gekomen van mijn persoonlijke rondgang door mijn leven als leerling, student, natuurkundige en natuurkundendidacticus. Vooral de historie van natuurkundendidactiek als wetenschappelijk werkgebied, kan de vraag bij u hebben doen opkomen of dat onderzoek eigenlijk wel iets heeft opgeleverd dat de moeite waard is. Bijvoorbeeld, in hoeverre resulteren daaruit nu juist de 'wetenschappelijk verantwoorde' antwoorden op alle eerder gestelde vragen? Dat zou natuurlijk heel mooi zijn en ik heb de rest van dit boek nodig om daar op in te gaan. Ik wil er nu wel alvast iets over zeggen, en wel door middel van wat je zou kunnen zien als een 'narratieve advance organiser'. Gewoon een verhaal, dus!

De parabel van de bibliotheken

Er was eens een man, laat ik hem P noemen, die een nieuwe baan kreeg. Dat was heel spannend, maar helaas had de groep waarin P kwam te werken te kampen met een te krappe behuizing en daardoor was die verspreid over twee gebouwen. Ook hadden ze eigenlijk geen goede bibliotheek. Alle schoolboeken die ze nodig hadden stonden op de kamer van hun secretaresse, maar de andere boeken stonden verspreid over de zitkamers van zijn nieuwe collega's. Die hadden allemaal min of meer hun eigen handbibliotheekje, wat de beschikbaarheid voor iedereen natuurlijk niet ten goede kwam. Het werd dan ook als een belangrijke verbetering gezien dat, toen ze verhuisden naar een gemeenschappelijke locatie, ook al die privé-bibliotheekjes werden samengevoegd. Zelfs een hele werkkamer werd daarvoor gereserveerd, die tot de nok toe gevuld werd met boeken. Hun secretaresse kon nu, met behulp van haar kaartenbak, zelfs alle uitleeningen bijhouden. Eén van de medewerkers werd benoemd tot 'boekenman'. Die verzorgde de aankoop en categorisering van nieuwe aanwinsten. Een prima systeem, waaraan, vanwege zijn menselijke maat, P nog vaak met heimwee terugdenkt. Deze bibliotheek werd zijn gereedschap. Vaak bracht P er wat verloren momenten door, bladerend en lezend in allerlei voor hem nog onbekende boeken, daardoor zijn nog gebrekkige kennis steeds verder ontwikkelend. Langzamerhand raakte P er zelfs zo in thuis, dat hij bijna blindelings wist waar wat stond en waar het over ging. En als P een boek of tijdschrift wat langer nodig had, nam hij het gewoon mee naar zijn kamer, om het na bestudering wat later, of eventueel zelfs pas de volgende dag weer terug te brengen. Daar hoefde hij natuurlijk geen lenbon voor in te vullen!

Toen zijn groep nauw ging samenwerken met twee verwante andere groepen, wilden ze ook bij elkaar gaan wonen, maar dat bleek nog helemaal niet zo gemakkelijk. Gelukkig konden die nieuwe groepen wel in een aangrenzend gebouw, dat met een luchtbrug met het hunne verbonden was. Hierdoor was nog wel voldaan aan het 'regenjas-criterium'. Dat is een regel die zegt dat als je een regenjas moet aantrekken om bij elkaar te komen, je effectieve samenwerking wel kunt vergeten. Ook hun bibliotheken werden samengevoegd, al leverde dit wel wat gemopper op. Die gezamenlijke bibliotheek nam een ruimte van wel drie werkkamers in beslag. Hun, nu gezamenlijke, boekenman bedacht een ingenieus en gedetailleerd systeem, volgens welk alle boeken konden

²¹ S.R. Singer, N.R. Nielsen & H.A. Schweingruber (Eds.) (2012). *Discipline-Based Education Research: Understanding and Improving Learning in Undergraduate Science and Engineering*. Washington: NRC.

Een persoonlijke introductie

worden ingedeeld. Prachtig, vond hij! En, na enige gewenning, toch ook de anderen. P heeft toen nog met enige trots een externe visitorator in deze bibliotheek rondgeleid. Daarbij benadrukkend hoe belangrijk het was dat er toch op één plaats in dit land een gespecialiseerde bibliotheek als de hunne aanwezig was, die een zo volledig mogelijke collectie in stand hield.

Maar zie, de vooruitgang schreed voort. Na een aantal jaren kwamen hun bazen op het idee dat het, met het oog op een efficiënter beheer en administratie en verdere serviceverlening, toch veel beter was om al die afzonderlijke bibliotheekjes samen te voegen met de hoofdbibliotheek van de bazen. Protesten hielpen niet en dus geschiedde het onvermijdelijke. Het zo mooi bedachte systeem van hun boekenman bleek helemaal niet te passen bij het officiële systeem van mensen die ervoor doorgeleerd hadden, en dus verloor die het gevecht daarover met de baas van de grote bibliotheek. Al hun boeken werden opnieuw gecategoriseerd, en voor een deel verspreid over de grote bibliotheek. Dat was beter. Alleen de 'gewone' schoolboeken vielen buiten de boot. Die zijn immers niet wetenschappelijk, dus die pasten helemaal niet in het systeem. Gelukkig mochten ze die wel zelf houden. Uiteindelijk bleken in de duur en ingrijpend verbouwde hoofdbibliotheek, toch nog een redelijk aantal rijen gevuld te worden door 'hun' boeken. Alhoewel, ook een groot deel werd opgeslagen in kelders. Toen P eenmaal aan dit systeem gewend was, kon hij toch nog steeds boeken en tijdschriften inzien. Al mocht hij ze natuurlijk niet even meenemen naar zijn kamer, zover ging de op efficiëntie gerichte serviceverlening nu ook weer niet! Trouwens, efficiëntie? Voor wie eigenlijk? Als je iets op grotere afstand plaatst, neemt de betrokkenheid af, wat het sterkst bleek bij de aanschaf van nieuwe boeken. Niemand voelde zich daar nog echt verantwoordelijk voor, en de beloofde service vanuit de hoofdbibliotheek was, vanwege onbekendheid met hun specialisatie, volstrekt onvoldoende. Dat bleek bijvoorbeeld uit het feit dat P soms nieuw aangeschafte boeken op de meest vreemde plaatsen in de bibliotheek kon tegenkomen. Maar, eerlijk is eerlijk, de aanmaningen als P een boek te lang in zijn bezit hield, kwamen prompt op tijd! Hoe dan ook, alles went, en het zou nog erger worden!

Vanwege een efficiënter beheer van de collectie en een efficiëntere administratie en serviceverlening, mogelijk gemaakt door het gebruik van ICT, waren de bazen van hun bazen, de superbazen dus, tot de overtuiging gekomen dat al die kleine hoofdbibliotheken beter konden worden samengevoegd tot één superbibliotheek. Overigens tot groot verdriet van hun hoofdbibliotheekbaas, die de eer aan zichzelf hield en verdween in de VUT. Er werd een prachtig groot nieuw gebouw neergezet, waarnaar ook hun hoofdbibliotheek is verhuisd. Maar ondanks de omvang van dit gebouw, met vele ICT-werkplekken voor studenten, resteert voor 'hun' boeken nu nog slechts één schamele kastenrij. De rest is ergens opgeslagen in nog grotere kelders, of afgevoerd. Niemand die nog zorgt dat 'hun' collectie up-to-date blijft. Enkele van 'hun' tijdschriften liggen op alfabet verspreid tussen vele andere. Maar hun hele collectie is uiteraard wel opgenomen in de digitale catalogus. P kan nu elektronisch een boek reserveren, en dat dan één of twee dagen later ophalen bij de balie. Aan het 'regensjascriterium' is uiteraard bij lange na niet meer voldaan, dus P bedenkt zich wel drie keer voordat hij dat doet. Maar als hij te laat is met het terugbrengen, moet hij, dankzij de efficiënte administratie nu zelfs een boete betalen. Het gevolg: bijna niemand van zijn collega's leent daar nog een boek, waaruit de superbazen uiteraard concluderen dat al die onrendabele hoofdbibliotheken toch maar zeer terecht zijn samengevoegd.

En wat ziet P nu gebeuren? Op allerlei kamers van collega's ontstaan kleine handbibliotheekjes. Ieder zorgt er kennelijk voor dat hij de boeken die hij echt nodig denkt te hebben, ook binnen handbereik heeft. Volstrekt begrijpelijk, maar uit het oogpunt van algemene beschikbaarheid niet erg efficiënt! Toch? Zou het niet beter zijn om...! Déjà vu, denkt P en mistroostig vraagt hij zich af hoe deze wereld eigenlijk in elkaar zit!

Tot zover mijn parabel. Hoe erg is dit nu, kunt u zich afvragen? Is dit nu vooruitgang? Technologisch gezien zeker, dus de technenuten zijn tevreden. Maatschappelijk gezien betekent het dat de verantwoordelijke bestuurders de tekenen des tijds hebben begrepen en gezorgd hebben voor voorzieningen die volledig aan de huidige maatstaven voldoen, dus ook de managers zijn tevreden. Prima! En hoe met de gebruikers? Dat ligt genuanceerder. De jongere onderzoeker heeft hier geen enkel probleem mee. Ten eerste weet hij niet beter, en ten tweede kan hij alles wat hij nodig heeft (zolang het

geen boeken zijn), dankzij de uitstekende ICT-voorzieningen, zoeken tot in de diepste krochten van het internet, en het daar waarschijnlijk nog vinden ook. De middelbare onderzoeker heeft het veel te druk met zijn carrière en leest toch niets meer dat ouder is dan tien jaar, en boeken al helemaal niet. Dat kost allemaal teveel kostbare tijd. Hij moet immers niet lezen maar schrijven! Alleen de oudere onderzoeker, die mist de intellectuele ondersteuning en uitdaging van een bibliotheek. Gewoon iets kunnen raadplegen, je blik kunnen verruimen als dat nodig is. En dus vraagt hij zich vaak af of dit nu wel zo'n positieve ontwikkeling is.

Wat moet ik hiermee, denkt u misschien. Waarom moet ik dit lezen, of u bent inmiddels allang afgehaakt. De vraag naar vooruitgang in de vakdidactiek is hiermee toch helemaal niet te vergelijken? Nee? Echt niet? Welnu, we zullen het zien!

1.3 En toch: een stukje van de canon?

1.3.1 Welk stukje?

De WND-conferentie van 2010 was gewijd aan de vraag of er ook een 'canon van de natuurkundendidactiek' valt aan te geven. Als verplichte kennis voor docenten en didactici. In mijn openingslezing heb ik daar, onder het motto 'laat ik eens wat proberen', getracht die vraag te beantwoorden²². Daarbij maakte ik onderscheid tussen 'praktijkkennis' en 'theoretische verdieping'.

Onder praktijkkennis versta ik de grote hoeveelheid kennis die elke docent dient te hebben ten aanzien van experimenten, verschijnselen, toepassingen, soft/hardware, examenprogramma's, leerstofvolgorden, behandelwijzen, etc. Tegenwoordig wordt in dit verband ook vaak gerefereerd aan wat 'praktijktheorieën' van docenten wordt genoemd en aan PCK, wat staat voor 'pedagogical content knowledge'.

Maar, over deze praktijkkennis gaat het niet in dit boek. Hoe belangrijk het ook zou zijn om die met enige volledigheid in boekvorm beschikbaar te hebben, dat boek zou ik niet kunnen schrijven. Mij gaat het hier om de theoretische verdieping, en wel voor zover die gebaseerd kan worden op natuurkunde-didactisch onderzoek en curriculumontwikkeling van de laatste vijftig jaar. Deze verdieping zou je kunnen onderverdelen in vier stukken, die ieder een belangrijk aspect beschrijven. En wel als volgt.

1 Curriculumhistorie – Elke docent zou toch op de hoogte moeten zijn van de belangrijkste motieven voor en producten van curriculumprojecten uit de recente historie, zodat er een historisch besef ontstaat op grond waarvan nieuwe voorstellen op hun merites kunnen worden beoordeeld.

2 Achtergronden van de schoolnatuurkunde – Een op de didactische problematiek toegespitste kennis van zaken als: inhoudelijke structuur van de discipline, conceptuele analyse van kernbegrippen, relatie met common-sense, reflectie op de natuurkundige methode, en kennis van de ideeëngeschiedenis van de natuurkunde.

²² P.L. Lijnse (2010). Een canon van de natuurkundendidactiek? Verslag WND-conferentie.

Een persoonlijke introductie

3 Het denken van leerlingen – Kennis van de meest voorkomende inhoudelijke en methodologische pre- en misconcepties van leerlingen, in relatie tot het interpretatieprobleem en van hun opvattingen over leren en onderwijzen.

4 Strategieën en heuristieken – Concrete voorbeelden van mogelijke didactische strategieën voor het onderwijzen van concepten en werkwijzen, met theoretische verantwoording en discussie van voor- en nadelen.

Uiteindelijk wil dit boek nu juist een bijdrage leveren aan het beschikbaar komen van dit stukje van de canon!

1.3.2 Hoe vormgegeven?

Alhoewel ik grote aarzeling heb om het woord ‘wetenschap’ te gebruiken als het om natuurkundendidactiek gaat, zal mijn benadering, in eerste instantie, toch vooral een wetenschappelijke zijn. Daarmee bedoel ik dat ik geen ‘prediker’ ben, ik wil niet een bepaalde didactiek propageren, alsof ik een wijsheid in pacht zou hebben. Nee, ik zal me zo veel mogelijk opstellen als de objectieve onderzoeker die een overzicht wil geven van belangrijke ontwikkelingen in zijn vakgebied en hun voor- en nadelen wil bediscussieren. Mijn rol is in de eerste plaats die van observator, analysator en commentator. En als ik in mijn betoog tot conclusies kom, zal ik proberen die te trekken op grond van zorgvuldige afweging van ‘wetenschappelijke’ argumenten. Al neem ik de vrijheid af en toe ook een persoonlijke noot of opinie toe te voegen.

Een klassieke tweedeling in het praten over onderwijs is altijd die tussen ‘het wat’ en ‘het hoe’. Een nogal theoretisch onderscheid, dat in de praktijk meestal niet te handhaven is. Toch is dat wat, in zekere zin, regelmatig gebeurt in onze onderwijsdiscussies. Dat komt mede doordat deze tweedeling zelfs tot officieel beleid is geworden. De overheid bepaalt het wat, de scholen het hoe. Vanuit pedagogische, maatschappelijke, onderwijskundige en natuurkundige overwegingen worden, door ministerieel ingestelde commissies, nieuwe natuurkundeprogramma’s (het wat) vastgesteld, die vervolgens, door de scholen, didactisch (het hoe) moeten worden ingevoerd. Althans, zo gaat het in ons land, met zijn centrale onderwijssysteem.

Daarbij aansluitend wil het eerstvolgende deel van dit boek de ontwikkelingen in relevant *onderwijsbeleid* beschrijven, geconcretiseerd in ‘onze’ curriculumdiscussies en projecten, onder andere door de uitgangspunten en voorstellen van de diverse commissies weer te geven en te becommentariëren.

Vanuit de andere invalshoek, ‘het hoe’ van leren en onderwijzen van natuurkunde, focusseer ik op de invloed van didactisch *onderzoek*. Dit wordt beschreven in het laatste deel van dit boek. Enerzijds vindt deze invloed zijn wetenschappelijke bron in de leer- en ontwikkelingspsychologie. En, anderzijds, in de wijze waarop natuurkunde-didactisch onderzoek heeft geprobeerd hierop aanvullingen te ontwikkelen, die directer geworteld zijn in de onderwijspraktijk.

Deel 2

Beleidsgeïnduceerde vernieuwing van het natuurkundeonderwijs: over het wat en het waarom

Curriculumdiscussies van gisteren en vandaag

Doel

Dit deel wil eerst op hoofdlijnen een overzicht geven van discussies over nagestreefde veranderingen in het natuurkundeonderwijs, onder andere blijkend uit de formulering van motieven en doelstellingen, in beleidsstukken van daartoe in de loop der jaren ingestelde overheidscommissies. Zijn daarin ook bepaalde trends te bespeuren, zodat sprake is van een doorlopende ontwikkeling? Dit overzicht zal hoofdzakelijk chronologisch zijn en worden geplaatst in een breder kader. Enerzijds voor wat betreft veranderingen in maatschappelijke opvattingen ten aanzien van de rol van de school, en anderzijds voor wat betreft invloedrijke vergelijkbare vakinhoudelijke veranderingen in het (Angelsaksische) buitenland.

Daarna ga ik in op de belangrijkste recente curriculumdiscussies ten aanzien van 'scientific literacy', context-conceptbenadering en multidisciplinariteit. Dit doe ik door achtereenvolgens de ontwikkelingen omtrent ANW, NINA en NLT te beschrijven en te bespreken. Wat voor lessen kunnen we daar uit trekken?

*“Het is de grootste dwaasheid
dingen te leren die men later weer moet vergeten.”
Erasmus*

*“Langweilig zu sein, ist die ärgste
Sünde des Unterrichts.”
Herbart*

2 Panta Rhei, of verandering is van alle tijden

2.0 Doel

Dit hoofdstuk beschrijft discussies over nagestreefde veranderingen in het natuurkundeonderwijs, zoals die naar voren komen uit beleidsstukken van daartoe in de loop der jaren ingestelde overheidscommissies. Dit overzicht is in grote lijnen chronologisch en wordt geplaatst in een breder kader. Daartoe besteed ik aandacht aan veranderingen in maatschappelijke opvattingen ten aanzien van de rol van de school, en ik beschrijf de invloed van de belangrijkste vernieuwingsprojecten uit het (Angelsaksische) buitenland.

2.1 Inleiding: van NINA tot Fokker

In hoeverre is ons natuurkundeonderwijs in de afgelopen decennia veranderd? Laat ik, als belangrijke ingang tot de behandeling van dit hoofdthema, me nu eerst buigen over de vraag hoe het denken over de opvattingen over en *doelstellingen* van ons natuurkundeonderwijs zich in de loop der jaren heeft ontwikkeld. Alle nagestreefde veranderingen zouden daarin immers toch op een of andere manier gefundeerd moeten zijn? Natuurlijk kan daarbij niet voorbij worden gegaan aan het feit dat het natuurkundeonderwijs deel uitmaakt van ons onderwijssysteem als zodanig, en dus ook is ingebed in allerlei maatschappelijke ontwikkelingen.

“Het nieuwe schoolvak natuurkunde zal, samen met de andere natuurwetenschappelijke vakken en wiskunde, aan leerlingen in de profielen NT en NG van de Tweede Fase van HAVO en VWO een beeld moeten geven van:

de basisprincipes en begrippen van het natuurwetenschappelijk denken en de natuurwetenschappelijke methode, inclusief technisch ontwerpen;

de opleidingen en beroepen waartoe de N-profielen toegang geven;

de functie van natuurwetenschap en techniek in de hedendaagse maatschappij en de wisselwerking tussen onderzoek en toepassing.”

Aldus formuleert de Commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs HAVO/VWO (door haarzelf afgekort tot NINA, wat staat voor ‘nieuwe natuurkunde’) de hoofddoelstelling voor het profielvak natuurkunde in haar visiedocument “Natuurkunde leeft”²³. Om deze algemene doelstelling vervolgens als volgt nader te specificeren:

“1. Natuurkunde als discipline en voorbereiding op vervolgstudies. Voor veel studies is het van belang dat leerlingen concepten en methodes hebben leren hanteren als middelen om verschijnselen in natuur en techniek te verklaren, te begrijpen en te voorspellen. Het zelf experimenteel onderzoek doen, het leren modelleren en ontwerpen speelt daarbij een essentiële rol. (...)

²³ *Natuurkunde leeft* (2006). Commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs HAVO/VWO, Nederlandse Natuurkundige Vereniging (NNV).

Ontwikkelingen in natuurkundeonderwijs

2. *Natuurkunde als bijdrage aan persoonlijke ontwikkeling. Natuurwetenschappelijke vorming is ook voor wie niet doorgaat in een exacte studie van belang. Allereerst kan zulke vorming bijdragen aan het vermogen tot analyseren en het oplossen van problemen. Daarnaast kan zij in alledaagse zaken nuttig zijn, bijvoorbeeld om veilig te kunnen handelen in het verkeer of beslissingen te kunnen nemen bij de aanschaf van artikelen. (...)*

3. *Natuurkunde als onderdeel van de cultuur. Het voortgezet onderwijs heeft mede als functie dat leerlingen inzicht verwerven in de kennis en cultuur die onze samenleving in de loop van de geschiedenis heeft opgebouwd. (...) Het onderwijs in de natuurwetenschappelijke vakken heeft als doel leerlingen kennis te laten maken met de grote ontdekkingen in de natuurwetenschappelijke vakken en de daarmee samenhangende culturele en technologische ontwikkelingen die de moderne maatschappij in hoge mate beïnvloeden.”*

Ik vermoed dat weinig mensen het hiermee oneens zullen zijn, mits deze mensen al bij voorbaat ‘natuurkunde’ op een of andere manier belangrijk vinden. Ten tijde van het schrijven van deze tekst is dit het, ongetwijfeld voorlopige, eindpunt van een lange reeks van ontwikkelingen in ons natuurkundeonderwijs. In dit hoofdstuk wil ik, zoals aangekondigd, een deel van deze ontwikkelingen beschrijven. Mijn argument daarvoor is dat het ten aanzien van onderwijsvernieuwingen belangrijk is om toegerust te zijn met enig historisch besef. Een besef dat kan leiden tot enige gezonde reserve ten aanzien van veel van wat regelmatig als ‘redding’ van ons natuurkundeonderwijs wordt voorgesteld. Ik kan deze historie uiteraard alleen in grote lijnen beschrijven en ik zal me daarom hoofdzakelijk beperken tot wat tegenwoordig HAVO/VWO heet, en daarvan dan nog de bovenbouw. Daarbij moeten we bedenken dat ons natuurkundeonderwijs zich niet in isolatie afspeelt. Enerzijds is het deel van ons onderwijssysteem als geheel en moet het zich dus aanpassen aan de maatschappelijke veranderingen die zich daarin voltrekken. Anderzijds is ons onderwijs deel van de westerse cultuur en daarmee onderhevig aan internationale beïnvloeding, wat nog versterkt wordt door het internationale karakter van de natuurkunde zelf als wetenschap.

Terugkerend naar de NINA-doelstellingen kunnen we ons afvragen of er, van dit niveau van formulering, überhaupt wel enige sturing uitgaat voor wat er werkelijk in het onderwijs gebeurt. Dan zouden er in ieder geval ook ontwikkelingen zichtbaar moeten zijn in de formulering van dit soort doelstellingen voor het vak natuurkunde door de jaren heen. De NNV-commissie NINA staat wat dat betreft immers in een lange traditie. Zo formuleerde de eveneens door de NNV ingestelde Commissie Fokker (1928)²⁴ al het volgende:

“Het doel van het onderwijs in de natuurkunde bestaat in het aanbrengen van de kennis der voornaamste natuurkundige verschijnselen en der wetten waardoor zij worden beheerscht, op een wijze die uit profondervindelijke waarneming opklimt tot het natuurkundig begrip, om de uit zulk begrip volgende conclusies wederom aan het experiment te toetsen, zoodat de leerling ervaart hoe natuurkennis wordt verkregen en is verkregen. Het moet leiden tot kennis van de belangrijkste theorieën, bekendheid met de voornaamste toepassingen der natuurkunde in het dagelijksch leven en in de techniek, en inzicht in de historische ontwikkeling van enkele problemen.”

²⁴ *Het onderwijs in de natuurkunde aan Gymnasia, Hoogere Burgerscholen en Lycea.* Rapport uitgebracht aan het bestuur van de Nederlandsche Natuurkundige Vereeniging (1928). Groningen: Wolters.

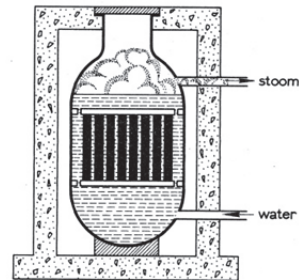
Opmerking. In een thermische reactor ontstaat bovendien nog het zeer waardevolle ^{239}Pu als afvalproduct van ^{238}U , dat een neutron heeft ingevangen. Het gevormde plutonium, dat langs chemische weg van het uranium kan worden gescheiden, kan dienst doen als zuivere splijtstof. De eerste kernreactor diende uitsluitend om plutonium te bereiden voor een atoombom.

b. Snelle reactor

In een snelle reactor bevindt zich zgn. *verrijkt* uranium, d.i. uranium met een groter percentage ^{235}U dan normaal. Daardoor is de kans dat ^{238}U , in plaats van ^{235}U neutronen invangt, kleiner dan in de thermische reactor, zodat men met *snelle* neutronen kan werken.

De afmetingen van deze reactor zijn kleiner dan die van de thermische reactor, zodat hij b.v. in schepen kan worden opgesteld (Nautilus).

In één uitvoering dient gewoon water als moderator en tevens als tussenstof die warmte opneemt, waarbij het in de reactor zelf in stoom wordt omgezet.



Opmerking. In sommige uitvoeringen is deze reactor omgeven met een mantel, bestaande uit ^{238}U of ^{232}Th . Deze nucliden worden dan geleidelijk omgezet in ^{239}Pu of ^{233}U , dat later als 'kernbrandstof' kan worden gebruikt.

Bij een zgn. *kweekreactor* wordt zelfs meer kernbrandstof gevormd dan verbruikt. Waardoor is dit mogelijk?

4. Atoombom

a. Stel in een brokje uranium, dat voor 100% uit ^{235}U bestaat, splijten op zeker ogenblik 10 kernen, waarbij b.v. 20 neutronen vrijkomen. Als hiervan nu 11 neutronen geen kernreactie veroorzaken, doordat ze uit het materiaal ontsnappen, treedt geen kettingreactie op (waarom?). Hieruit volgt dat in een klein brokje ^{235}U geen kettingreactie kan optreden.

De kleinste massa van zo'n stuk uranium, waarin nog juist een kettingreactie kan optreden, heet de *kritieke* massa. (Deze is voor uranium waarschijnlijk ca. 1 kg.)

b. In een atoombom moet de kettingreactie, in tegenstelling tot die in een reactor, om de volgende redenen zo snel mogelijk verlopen:

Figuur 2. Een pagina uit 'Natuurkunde op corpusculaire grondslag', deel 4 (Schweers & van Vianen, 1960).

Eigenlijk zouden we ons daarin, afgezien van de wat plechtstatige formulering, ook nog best kunnen vinden. In haar analyse concludeert deze commissie onder andere: *“Het stofprobleem, wat betreft de modernisering van ons onderwijs, is acuut geworden.”* Daarnaast schrijft zij als volgt: *“Bij de nastreving van dit doel zal van het onderwijs in de natuurkunde een groote vormende kracht uitgaan. Dat goed ingericht natuurkunde-onderwijs kan opvoeden tot logisch denken, kan dienen tot scholing der opmerkingsgave, tot oefening in een objectieve beschouwing der gegevens – zal ieder toegeven. Maar even duidelijk is, dat dit vooral tot zijn recht komt, wanneer de leerling zelf denkt, zelf waarneemt.”* (Figuur 1 is een voorbeeld uit een leerboek dat nog stamt uit dit tijdperk.) Kortom, deze commissie geeft een invulling aan precies die kernzaken, namelijk het waarom, het wat, het effect en het hoe, die van alle tijden lijken te zijn als het gaat om didactische discussies. En dus wordt de vraag of er sindsdien nog wel iets nieuws geweest is onder de zon, om even de prediker te citeren. De daarop volgende Commissie Houdijk (1948)²⁵ was het in ieder geval met haar voorganger eens, maar voegde er, in die tijd begrijpelijk, nog wel iets aan toe: *“In de laatste jaren is de betekenis van de natuurkunde werkelijk spectaculair duidelijk geworden (atoombom) en in brede lagen van de wereldbevolking gevoeld. (...) Men begint te begrijpen, dat de enorme technische ontwikkeling van de laatste eeuw met haar grote gevolgen voor de sociale verhoudingen alleen mogelijk is geweest door de vondsten in de natuurkunde gedaan en dat dit proces, ook afgezien van de atoomenergie, crescendo voortgang heeft. Daarom is het noodzakelijk, dat bij het natuurkundeonderwijs sterker dan tot nu toe gewezen wordt op de technische ontwikkeling, die door de natuurkunde mogelijk is gemaakt.”*

In de leerboeken uit die periode gebeurde dit bijvoorbeeld op een manier zoals weergegeven in figuur 2. Wat, in vergelijking met NINA, opvalt is dat beide geciteerde vroegere commissies het belang van natuurkunde als schoolvak vooral als vanzelfsprekend beschouwen, wat alleen nog maar versterkt werd door de naoorlogse maatschappelijke ontwikkelingen. Ze benadrukken dan ook vakinterne zaken als: kennis, methode, historie, technische toepassing, maar besteden weinig aandacht aan de vraag wat het schoolvak natuurkunde überhaupt heeft bij te dragen aan de taak van de school. Voor een goed begrip van alle ontwikkelingen, lijkt het me echter nodig om daar toch even bij stil te staan.

2.2 Het verschijnsel ‘school’ door de jaren heen

Wat zou die taak van de school dan wel kunnen zijn? De onderwijskundige Deen²⁶ onderscheidt vier functies voor ‘het verschijnsel school’, waarover ik hem nu aan het woord laat: *“Proberen we nu in enkele woorden samen te vatten wat voor historische lijnen getrokken kunnen worden in een betoog over de plaats van de school in het maatschappelijk bestel, dan zien wij dat het georganiseerde onderwijs grof genomen op vier gebieden een rol speelt.*

In de eerste plaats, en daar ligt ook een voorname aanleiding tot zijn ontstaan, functioneert de school als een orgaan van de maatschappij. Als zodanig dient de school enerzijds de instandhouding van bepaalde vormen die stabilisatie behoeven op grond van de overlevingswaarde die zij voor de mens

²⁵ Geciteerd uit S. Auer (1966). *School, natuurwetenschap en maatschappij*. Amsterdam: Meulenhoff.

²⁶ N. Deen (1976). Scholen of niet? *Pedagogische Studiën*, 53, 345-357.

hebben, anderzijds speelt de school een rol in de instrumentatie die nodig is om de vernieuwing van de maatschappij gaande te houden en te ondernemen.

In de tweede plaats functioneert de school ten aanzien van de cultuur. Ten aanzien van de cultuur functioneert de school in de overdracht van waarden. Dat geldt zowel waar de school een conservatief, bewarend karakter draagt, als waar de school in het verlengde van de vernieuwing van de maatschappij wordt gezien. In beide gevallen wordt de school gehanteerd als een middel om die opvattingen, overtuigingen, gevoelens die men waardevol acht over te dragen op het opgroeiende kind in de hoop dat die aan de verdere realisering daarvan zal voortbouwen.

In het verlengde van de vorige ligt een derde functie, die ten aanzien van de gemeenschap; en dat op tweeërlei wijze. Enerzijds door de waarden die als normen in de gemeenschap gelden op het kind over te brengen, anderzijds door het integratieve effect dat van de school als school uitgaat, omdat de school een van de weinige plaatsen is waar kinderen van verschillende sociale herkomst elkaar kunnen treffen en met elkaar kunnen leren leven.

Dit nu verwijst naar de vierde functie van de school, namelijk die ten aanzien van de individu: een functie die nooit los gezien kan worden van de wederzijdse betrokkenheid, waarin individu en gemeenschap zijn gevat.”

Hij komt dan tot de stelling dat “de participatie van de leerling in het maatschappelijk bestel het einddoel dient te zijn waarin de functie van de school in de maatschappij is gegeven”, waaruit als taakstelling voor het onderwijs het begeleiden van de leerling tot zelfstandige participatie volgt. Voor de daarvoor nodige ‘onderwijskundige actie’ levert, naar zijn oordeel, een ‘cultuurbestand de nodige bouwstoffen’. “Een in onze traditie gegroeid bestand aan vaardigheden en kennis, aan levensnormen en waarden, aan visies op wereld en maatschappij waarvan de overdracht voorwaarde vormt voor zinnvolle en creatieve participatie.” Deen besluit zijn artikel met het volgende: “Wat zullen we doen met de school? Het is niet moeilijk om vast te stellen dat de school een bijdrage heeft geleverd aan de vervreemding van het kind van de dagelijkse werkelijkheid door ervaring te abstraheren en als leerstof door geprofessionaliseerde lieden, het lerarenbestand, te doen aanbieden. In een geïndustrialiseerde maatschappij, waar massaonderwijs een noodzaak is, wordt dit probleem evenwel niet opgelost door de school af te schaffen, zoals sommige ontscholers willen. Het andere uiterste is echter om terreden te zijn met het geïsoleerde bestaan van een aparte school die zijn leven voortleeft alsof daarbuiten niets zou gebeuren. De tussenvoeg zal gevonden moeten worden in vermaatschappelijking van de school, door het scheppen van mogelijkheden om de geslotenheid van de school te doorbreken en zo veel mogelijk zijn schools karakter te ontnemen. Om opnieuw Von Hentig²⁷ te citeren: het zal moeten gaan om ‘ontscholing van de school’.”

Deze woorden stammen uit de jaren zeventig van de vorige eeuw, maar ze zijn nog nauwelijks gedateerd en volgens mij dan ook nog steeds geldig. Sterker, het is pas in de laatste jaren dat er werkelijk stappen worden gezet om de institutionele geslotenheid van de school werkelijk te doorbreken²⁸, wat tevens een illustratie moge zijn van de tijdsperiode die nodig is voor de acceptatie en implementatie van meer dan oppervlakkige onderwijsvernieuwingen. Kernprobleem in de geformuleerde onderwijstaakstelling is uiteraard dat de maatschappij waarop het onderwijs leerlingen moet voorbe-

²⁷ Een bekend Duits onderwijsvernieuwer uit de jaren zestig en zeventig van de vorige eeuw, die in afwijking van andere vernieuwers die de ontscholing van de maatschappij propageerden, daar de ontscholing van de school voor in de plaats stelde.

²⁸ Bijvoorbeeld door de invoering van maatschappelijke stages of de wijze waarop het bedrijfsleven nu betrokken wordt bij de vormgeving en uitvoering van het onderwijs.

reiden, altijd gesitueerd is in de toekomst. Kortom, het gaat altijd om een maatschappij die we nog niet kennen, die mogelijk snel verandert en waarover we hooguit door extrapolatie vanuit de huidige, meer of minder adequate voorspellingen kunnen doen. Zo is het nu welhaast onvoorstelbaar dat in de statische maatschappij van het verleden, ons onderwijssysteem praktisch een eeuw lang onveranderd is gebleven. Maar sinds in 1963 de Mammoetwet werd aangenomen, waardoor ULO, HBS, MMS en Gymnasium vervangen werden door MAVO, HAVO en VWO, lijken de systeemveranderingen elkaar in steeds sneller tempo op te volgen. De middenschool²⁹ die er toch niet kwam, de basisvorming die weer werd afgeschaft, de tweede fase met profielen die drastisch zijn aangepast en het studiehuis dat inmiddels onbewoonbaar is verklaard. Van een zeer statisch schoolsysteem zijn we overgegaan op een (te?) sterk dynamisch systeem, vanuit de genoemde noodzaak van vermaatschappelijking van de school, tezamen met een toegenomen behoefte aan individualisering van het onderwijsaanbod. En dat alles in correspondentie met een zich steeds dynamischer ontwikkelende individualistischer maatschappij.

Maar mochten sommige systeemveranderingen tot op de dag van vandaag nogal wat politieke voor- en tegenstanders op de been brengen (zoals de middenschool, of het studiehuis), veel meer overeenstemming was er ten aanzien van noodzakelijk geachte inhoudelijke vernieuwingen, die kortweg samengevat kunnen worden in de term: verbreding van het onderwijsaanbod. In de ministeriële nota 'Verder na de Basisschool'³⁰ (1982) werd geschreven dat er meer aandacht moest worden besteed aan de ontwikkeling van 'creatief/artistieke, technische, huishoudelijke en sociale vaardigheden.' Daaraan werd toegevoegd dat in het (toen) bestaande schoolstelsel onvoldoende werd gewerkt aan lichamelijke ontwikkeling, uitdrukkingsvaardigheid, kunstzinnige vorming en de ontwikkeling van het gevoelsleven. Voorts werd het in deze nota bezwaarlijk geacht dat niet alle leerlingen worden ingeleid in de gebieden van techniek, huishoudelijke vaardigheden, ambachten en arbeid. Verbreding van het onderwijsaanbod werd zowel voor het individu als voor de samenleving van grote waarde geacht, waarbij er een tendens aanwezig was voor enerzijds meer aandacht voor het non-cognitieve domein, en anderzijds voor nieuwe leergebieden. Leune³¹ noemt de volgende voorbeelden van nieuwe terreinen: consumentenopvoeding, vredesopvoeding, seksuele opvoeding, training van sociale vaardigheden, ontwikkeling van milieubesef, verkeersopvoeding, aanleren van multicultureel gedrag, geslachtsrolsocialisatie, training van huishoudelijke vaardigheden, politieke vorming, gezondheidsvoorlichting, informatica, elementaire technische vaardigheden, ontwikkeling van het gevoelsleven en van dynamische expressie, waarbij hij nog aantekent dat deze opsomming stellig niet volledig is. Veel van deze zaken zijn tot op de dag van vandaag onderwerp van meer of minder geleidelijke invoering, waarbij opgemerkt kan worden dat het lang niet altijd gaat om nieuwe vakken, maar ook vaak om inpassingen in, en aanpassingen van de didactiek

²⁹ Bepleit in de befaamde nota *'Meer mensen mondig maken'* ofwel de 'Contourennota' van de toenmalige minister Van Kemenade.

³⁰ Weer onder verantwoordelijkheid van de opnieuw minister geworden Van Kemenade.

³¹ J.G.M. Leune (1983). Naar een verdere verbreding van onderwijsaanbod? *Pedagogische Studiën*, 60, 107-116.

van al bestaande vakken. Deze inhoudelijke verbreding kreeg een sterke stimulans door een rapport van de Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (WRR) in 1986, waarin er voor gepleit werd om de noodzakelijke onderwijsvernieuwing niet zozeer te zoeken in het veranderen van structuren, maar in de eerste plaats in de onderwijshoud. De invoering van de Basisvorming (1993) was hiervan het directe gevolg. In de memorie van toelichting bij het betreffende wetsvoorstel lezen we dat onder basisvorming, in overeenstemming met de definitie van de WRR, wordt verstaan: *“De gemeenschappelijke en algemene vorming op intellectueel, cultureel en sociaal gebied, die als grondslag dient voor een verdere ontwikkeling van de persoonlijkheid, voor het zinvol functioneren als lid van de samenleving en voor een verantwoorde keuze van een verdere scholing en beroep.”*

Het bijzondere aan deze bedoelde gemeenschappelijke basisvorming was dat ze voor de gehele breedte van het intellectuele spectrum slechts op twee niveaus diende te worden onderwezen, het ‘algemene’ en ‘het hogere’. Juist deze maatregel, die vroeg om veel aandacht voor differentiatie in de klas, en daarmee ingrijpende didactische consequenties had, heeft grote weerstand opgeroepen. Nog afgezien van de principiële weerstand dat ‘slechts twee niveaus’ naar veler mening onrecht doet aan de grote spreiding in capaciteiten van leerlingen. Die twee niveaus zijn er dan ook nooit echt gekomen. Maar daarmee was wel de toon gezet, en de didactische ingrepen gingen nog veel verder in de toen uiteraard onvermijdelijk geworden herstructurering van het bovenbouwonderwijs: de Tweede Fase, met zijn profielen en het studiehuis (ingevoerd in 1998). De invoering van de profielen³², bedoeld om te komen tot inhoudelijke verdieping en de uitbanning van de ‘pretpakketten’ van de Mammoetwet, riep relatief weinig weerstand op, alhoewel er natuurlijk veel te kibbelen viel over de precieze urenverdeling voor de diverse vakken in de diverse profielen en profieldelen. Des te meer discussie heeft het ‘Studiehuis’ opgeleverd.

“Bij de invoering van de vernieuwde tweede fase gaat het niet om een cosmetische aanpassing van de bestaande situatie, maar om een fundamentele en ingrijpende verandering, een cultuuromslag.(...) Veranderde onderwijskundige inzichten hebben geleid tot een nieuw concept van leren. Actief en zelfontdekkend leren zorgt ervoor dat de leerstof beter wordt verwerkt en dat leerlingen zich meer bij hun eigen leerproces betrokken voelen. Dit vraagt van de docenten een andere attitude en een bredere taakopvatting; minder klassikaal aangeboden lesstof, meer taakopdrachten voor leerlingen waarmee ze zelfstandig aan het werk kunnen, minder met krijt uitwerken op het bord, meer aanschuiven bij één of meer leerlingen op het moment dat ze zelf hulp nodig hebben, minder zelf het heft in handen nemen, meer aan leerlingen overlaten. Ook als dat af en toe fout gaat, want van fouten leren we allemaal uiteindelijk het meest”, aldus de Stuurgroep Tweede Fase³³, die tot taak had deze cultuuromslag te ontwikkelen en vorm te geven. Bij deze veranderde onderwijskundige inzichten hoorde ook de nadruk op het belang van vaardigheden. *“Vaardigheden hebben een grotere reikwijdte dan kennis. Vaardigheden stellen iemand in staat nieuwe informatie op te sporen en te ordenen, bestaande kennis aan te passen aan nieuwe inzichten, hoofd- en bijzaken van elkaar te onderscheiden, het eigen leren op een goede manier te plannen en te organiseren, samen te*

³² De ingevoerde profielen zijn: Cultuur en Maatschappij, Economie en Maatschappij, Natuur en Gezondheid, en Natuur en Techniek. Elk profiel bestaat uit een algemeen deel, een verplicht profieldeel en een vrij profieldeel.

³³ *Studiehuis in zicht*, Stuurgroep Profiel Tweede Fase Voortgezet Onderwijs, Den Haag, 1996.

werken met anderen en complexe problemen te analyseren. (...) Vaardigheden zijn de inhoud van een gereedschapskist, die leerlingen in staat stelt niet alleen met nieuwe kennis op een verantwoorde wijze om te gaan, maar ook met complexe maatschappelijke en levensvraagstukken, waarmee ze in hun verdere leven geconfronteerd worden.”

En in het bijzonder werd dit geacht te gelden voor de vaardigheden ‘zelfstandig denken’ en ‘leren leren’. De invoering van het studiehuis heeft aanvankelijk tot grote problemen geleid, zozeer zelfs dat leerlingen protesteerden tegen de volgens hen te sterk toegenomen werkdruk. Ook docenten moesten een weg vinden om hier in de praktijk mee om te gaan, bijvoorbeeld door het ontwikkelen van studiewijzers die leerlingen richting moesten geven in hun zelfstandig leren. Het aantal klassikale lessen werd soms drastisch verminderd, terwijl sommige docenten de indruk hadden dat het eigenlijk ook niet meer toegestaan was om tijdens zo’n klassikale les nog iets frontaal uit te leggen. Kortom veel verwarring en onvrede, die er uiteindelijk toe geleid hebben dat het studiehuis, als ‘verplichte werkwijze’, wat het overigens formeel nooit geweest is, praktisch is afgeschaft. En inmiddels vond het ‘beleid’ dat ook de profielstructuur aan enige herziening toe was³⁴, wat met name gevolgen heeft gehad voor de positie van ANW op het HAVO en van het vak natuurkunde in het NG-profiel³⁵. Leidinggevende gedachte hierbij was dat er meer keuzevrijheid moest komen voor zowel scholen als leerlingen. Ten slotte dient nog opgemerkt te worden dat er zich geleidelijk aan nog een belangrijke maatschappelijke verandering heeft voltrokken, die zich niet zozeer heeft vertaald in het onderwijssysteem, als wel in wat men van het onderwijs verwacht. Daarmee bedoel ik dat het focus langzamerhand is verschoven van aandacht voor de zwakkere leerling, die in leerlinggericht onderwijs zo lang mogelijk moest worden meegenomen, naar aandacht voor de (hoog)begaafde leerling, voor de ontwikkeling van talent, zoals het nu genoemd wordt. Ook hierin weerspiegelt zich uiteraard de ontwikkeling van de maatschappij, waar het onderwijs nu eenmaal onlosmakelijk deel van uitmaakt. De KNAW³⁶ formuleerde het als volgt: “Nederland staat voor grote opgaven als het gaat om het op peil brengen en houden van het kennisniveau in ons land. Het onderwijs moet alles op alles zetten om het aanwezige talent vroegtijdig op te sporen, te stimuleren en te motiveren. Hoe hoger de bevolking is opgeleid, des te beter een samenleving er voor staat.”

Om dit talent adequater te kunnen opleiden voor het scala aan mogelijke beroepen zijn, vooral in het (hoger) beroepsonderwijs, beroepskwalificaties vertaald in ‘competenties’. Dit zogenoemd competentiegericht onderwijs, tezamen met het zelfstandig leren leren en de invoering van ‘e-learning’, zijn belangrijke componenten van wat inmiddels het ‘nieuwe leren’ is gaan heten. Een benadering die door op zoek te gaan naar alternatieven voor het traditionele klassikale onderwijs vooral de motivatieproblemen van leerlingen in het voortgezet onderwijs wil aanpakken. Maar ook een benadering die ‘in het veld’ aanleiding heeft gegeven tot heftige emoties, met name door de

³⁴ *Ruimte laten en keuzes bieden in de tweede fase HAVO en VWO*. Nota Ministerie van OCW (2003) onder minister Van der Hoeven; *Kennis, Kwaliteit en Keuze in de tweede fase*. Eindadvies Profielcommissies, 2007. Een advies dat tot nu toe niet is overgenomen door de politiek.

³⁵ Het onmogelijk geachte bleek werkelijkheid te kunnen worden. Het vak natuurkunde bleek opeens niet meer verplicht voor leerlingen met een NG-profiel. Ondanks alle protesten van de fysici is dit nu toch het geval. Daarnaast is de omvang van het vak in het NT-profiel behoorlijk afgenomen.

³⁶ *Ontwikkeling van talent in de tweede fase*. KNAW, Amsterdam, 2003.

inspanningen van de vereniging ‘Beter Onderwijs Nederland’. Een en ander gaat tevens gepaard met een grotere roep om ‘accountability’, bijvoorbeeld door de eisen aan het onderwijs scherper te formuleren en de scholen daar dan ook op af te rekenen. En dan, als ik dit allemaal geschreven heb, verschijnt het rapport ‘Tijd voor onderwijs’ waarin de Commissie Dijsselbloem³⁷ verslag doet van zijn onderzoek naar de politieke onderwijsvernieuwingen van de laatste decennia. Het resultaat is toch verrassend. De basisvorming en het studiehuis/profielen hadden eigenlijk nooit zo mogen worden ingevoerd, want het draagvlak in het onderwijsveld zou hebben ontbroken, evenals de wetenschappelijke fundering. Dat laatste is grotendeels juist, maar de vraag is wel of de onderwijswetenschap dat soort fundering wel ooit kán geven. Ook de doelverbreding wordt bekritiseerd. Dat is eveneens verrassend, want alhoewel de eisen die wat dat betreft aan het onderwijs worden gesteld misschien nogal zijn doorgeschoten (zie hierboven), toch is het evenzeer waar dat de maatschappelijke rol van de school ten opzichte van andere instituties als gezin, kerken, verenigingen, onherroepelijk is veranderd. De vraag is dan ook of de uit dit rapport naar voren komende roep om terug te keren naar voldoende nadruk op basisvaardigheden als lezen, schrijven en rekenen (‘back to the basics’), niet net zozeer wordt ingegeven door de politieke mode van dit moment, als de genoemde vernieuwingen dat waren in hun tijd. Ten slotte wordt de vloer aangeveegd met het ‘nieuwe leren’, in het bijzonder met de didactiek van het studiehuis. De commissie komt tot de conclusie dat de overheid zich voortaan alleen moet bezighouden met het *wat* in het onderwijs en dat het *hoe* moet worden overgelaten aan het onderwijs zelf. Naar mijn idee ligt hier toch een merkwaardige misvatting aan ten grondslag. Immers, het studiehuis werd ingevoerd om vorm te geven aan een onderwijsdoel, namelijk het zelfstandig leren leren. Uiteraard kun je het studiehuis als didactische vormgeving afwijzen (als een ongeschikte manier van het hoe), maar daarmee staat het doel (het wat) nog steeds overeind. De commissie lijkt dit onderscheid echter niet te maken.

Tot zover een korte schets van relevante ontwikkelingen in ons schoolsysteem, als kader waarbinnen we nu de veranderingen in het natuurkundeonderwijs kunnen plaatsen. De beschreven ontwikkelingen weerspiegelen ook hoe maatschappelijke veranderingen voortdurend vragen om aanpassingen van het onderwijs, zowel op systeem- als inhoudsniveau. Laat ik de grote lijn in die maatschappelijke veranderingen kort samenvatten. Na de tweede wereldoorlog werd ons land nog gekenmerkt door de verzuiling, waarin ieder mens nog zijn van-God-gegeven plaats kende. Er was weinig sociale mobiliteit: ‘als je voor een dubbeltje geboren was, werd je nooit een kwartje’, wat weerspiegeld werd in een van oorsprong standgerelateerd onderwijssysteem. Langzaamaan kwam hier verandering in, vooral door een toenemende welvaart. Autoriteit werd steeds minder vanzelfsprekend aanvaard. De verzorgingsstaat naderde zijn voltooiing, met als motto spreiding van kennis, inkomen en macht. Eigenlijk waren we allemaal gelijk, dus als je als geboren dubbeltje moeite had om een kwartje te worden, dan lag dat niet zozeer aan jou (‘nature’), maar aan de maatschappelijke omstandighe-

³⁷ De Commissie Dijsselbloem heeft dit onderzoek gedaan in opdracht van de Tweede Kamer, die dit nodig vond vanwege alle commotie omtrent de veronderstelde daling van de kwaliteit van het onderwijs.

den ('nurture'). En daarom kreeg het onderwijs hierin een belangrijke mediërende taak. Het buzz-woord was 'solidariteit', en daardoor lag het accent sterk op de (buiten hun schuld) zwakkere leerlingen, onder andere door middel van allerlei stimuleringsprogramma's. Die moesten zo lang mogelijk worden meegenomen. Totdat, via het 'iktijdperk' en het 'neoliberalisme' de maatschappelijke slinger nu geheel naar de andere kant is doorgeslagen. Of jij van een dubbeltje een kwartje wordt, ligt nu in de eerste plaats aan jouzelf ('nature' dus). Of jij bereid bent om je eigen talenten, die ieder mens nu eenmaal heeft, te ontdekken en daaraan te werken! Kortom, het gaat nu om het ontwikkelen van individueel (top)talent en excellentie. En het onderwijs moet zich nu dus daarop richten en heeft het daar opnieuw druk mee. Totdat...?

2.3 Verder over natuurkundeonderwijs

De uitspraken van de commissies Fokker en Houdijk moeten dus geïnterpreteerd worden in de context van het toenmalige statische schoolsysteem. Maatschappelijk werd (en wordt) het schoolvak natuurkunde kennelijk gezien als een noodzakelijke bijdrage aan de functie van de school als 'orgaan van de maatschappij' in de zin van de genoemde stabilisatie en instrumentatie. Vanuit de natuurkunde zelf lijkt echter meer het culturele aspect te worden benadrukt. Natuurkunde als hét voorbeeld van de culturele waarde van wetenschap en wetenschappelijke kennis, en daarmee als essentieel onderdeel van het, zoals Deen het noemt, in de traditie gegroeide cultuurbestand van kennis en vaardigheden. Maar, naar mijn mening, tot op zekere hoogte ook als hét voorbeeld van de vervreemding van de dagelijkse werkelijkheid. Onbelicht bleef uiteraard vooralsnog óf en hoe dit dan moest bijdragen aan 'de begeleiding van leerlingen tot zelfstandige participatie in het maatschappelijk bestel'.

Deze optiek komt het eerst aan de orde, zij het beperkt, in het rapport van de Commissie Rekveld (1966)³⁸, die zich boog over het natuurkundeprogramma voor het toen nieuwe HAVO. Zij formuleren als doelen voor dat natuurkundeonderwijs onder andere "*het geven van algemene vorming*" en "*het geven van aansluiting met het hoger beroepsonderwijs*". In de roerige jaren zeventig komt vervolgens de Commissie Modernisering Leerplan Natuurkunde (CMLN, 1974) met haar eindrapport, dat het natuurkundeonderwijs voor het MAVO, HAVO en VWO, dus voor de toen nieuwe schooltypen, volledig op de kaart moest zetten. Het is frappant en veelbetekenend dat de subcommissie voor de onderbouw veel moeite doet om doelen voor het natuurkundeonderwijs te formuleren, terwijl de bovenbouwsubcommissie daar geen woord aan vuil maakt. Zo begint de onderbouwcommissie met het formuleren van een aantal 'wensen van de school ten aanzien van het natuurkundeonderwijs', om vervolgens de bijdrage van het natuurkundeonderwijs tot de algemene vorming der leerlingen onder de loep te nemen:

"Om als volwaardig mens in onze maatschappij te staan, dient men bekend te zijn met allerlei onderwerpen en feiten. De school vormt een belangrijke bron voor deze kennis. De bijdrage van het natuurkundeonderwijs in de onderbouw betreft ondermeer de volgende punten:

³⁸ Geciteerd uit Auer²⁵ (1966).

a. *Het begrip natuurkunde.*

- *Wat verstaat men onder natuurkunde; wat houdt dat vak in? Met welke onderwerpen (problemen) houdt het zich bezig; hoe wordt natuurkunde bedreven; wat zijn zoal de resultaten? Het door deze vragen aangeduide oogmerk is, voor de leerlingen inhoud te geven aan het woord natuurkunde. Daarbij dient direct te blijken welke rol het experimenteren speelt en welke het redeneren.*

b. *Het natuurkundig instrumentarium.*

- *Beoogd wordt een indruk te geven van de grote uitbreiding der mogelijkheden dankzij de instrumenten waar de natuurkundigen over beschikken (en die ze grotendeels zelf ontwikkeld hebben) als aanvulling bij hun eigen handen en zintuigen en denkvermogen. Dit betreft zowel de te realiseren omstandigheden (hoge en lage druk, hoge en lage temperatuur) als de waarnemingsmethoden (met microscoop, spectroscop, oscilloscoop, e.d.) en tegenwoordig ook de verwerking der waarnemingen (registratiemethoden, rekenmachines).*

c. *Het natuurkundig wereldbeeld.*

- *Bedoeld wordt een inleiding in de structuur en wetmatigheid van de materiële wereld (van beelal tot atomen), waarbij tevens dient te blijken welke bijdrage de natuurkunde levert tot deze kennis.*

d. *Het maatschappelijk en economisch belang van de natuurkunde.*

- *Dit betreft voornamelijk toepassingen in dagelijks leven en techniek. Wenselijk is hiervan duidelijke voorbeelden te geven. Het verschil tussen leef- en woonwijze in de 17^{de} eeuw en die in de 20^{ste} eeuw berust voor een belangrijk deel op toepassingen van de natuurkunde!*

e. *De algemeen-culturele betekenis der natuurkunde.*

- *Beoogd wordt enig idee te geven van de wijze waarop en de mate waarin de natuurkundige werkmethode en haar resultaten ons denken en onze opvattingen beïnvloeden.”*

In het licht van latere ontwikkelingen valt het op dat deze commissie nadrukkelijk het belang van het hebben van natuurkundige kennis benadrukt. Iets wat, denk ik, in die tijd overigens redelijk vanzelfsprekend was, al gaat het mij wat (te) ver om dit te koppelen aan ‘volwaardig’ mens zijn. Ook al gaat het hier slechts om, naar ik vermoed, een mogelijke en niet om een noodzakelijke bijdrage, het is wel heel erg normatief en derhalve niet echt waar te maken. Hierna beschrijft deze commissie de bijdrage van het natuurkundeonderwijs tot ‘de geestelijke rijping der leerlingen’, en wel als volgt:

“Tot de voornaamste onderwijsdoelen in de school behoort het belangstellingsgebied der leerlingen te verbreden en hun vermogen tot zelfstandig en kritisch denken te ontwikkelen. Men moet trachten ze eraan te wennen actief denkend tegenover verschijnselen en situaties te staan. Hiertoe kan het natuurkundeonderwijs ondermeer de volgende bijdragen leveren bij de leerlingen:

a. *Ontwikkelen en stimuleren van de belangstelling voor en het begrijpen van de gewone wereld om ons heen (wat betreft de fysische en daaraan verwante aspecten). Dit in tegenstelling tot het gedachteloos aanvaarden van de verschijnselen uit het dagelijks leven.*

b. *Doen ervaren dat men door systematisch redeneren vanuit waargenomen feiten kan komen tot zinvolle conclusies. Zulks met de opzet dat de leerling deze werkwijze ook buiten de school zal gaan toepassen.*

c. *Doen ervaren dat fysische beweringen controleerbaar zijn, in het bijzonder door daarop gerichte proeven. Duidelijk maken dat beweringen pas na controle als (waarschijnlijke) waarheid te aanvaarden zijn. Dit betreft dus de kennismaking met criteria voor geloofwaardigheid. Belangrijk is het stimuleren van feitelijkheid, nuchterheid en een zelfstandige kritische instelling ten opzichte van eigen denkebeelden en die van anderen, mede t.a.v. propaganda en reclame, etc.”*

Deze (sub)commissie heeft dus wel veel meer woorden nodig dan de vorige, maar haar opvattingen wijken daar niet wezenlijk van af. Opnieuw valt op, net als hiervoor, dat deze commissie nogal hoge, om niet te zeggen irreële, verwachtingen heeft ten aanzien van de potentie van natuurkundeonderwijs. Zeker als men bedenkt dat het hier eigenlijk alleen gaat om een rapport voor de onderbouw. Het lijkt me dat hierin toch wat al te gemakkelijk gedacht wordt over de bijdrage van het natuurkundeonderwijs aan de vorming van attitudes, nog afgezien van de vraag of we het met de veronderstelde waarden als zodanig wel eens kunnen zijn. In dit verband is het goed op te merken dat dit rapport, waaruit een heel positieve wetenschapsopvatting naar voren komt, juist verscheen in een tijd dat er sprake was van een toenemend anti-wetenschappelijk sentiment, in het bijzonder ten aanzien van de exacte wetenschap (zie verder)³⁹.

De subcommissie formuleert ten slotte de volgende ‘natuurkunde-lesdoelstellingen in meer directe zin:

“Gegeven dat natuurkunde op het lesrooster staat en dat daar goede argumenten voor bestaan (zie hierboven), dient gezorgd te worden dat de leerlingen een redelijke mate van natuurkundige ervaring en kennis opdoen. Dit omvat onder andere het volgende:

a. Beoefening der natuurkunde.

Bedoeling: de leerlingen natuurkundig werkzaam te doen zijn, zo dat

- ze leren waarnemen, waarnemingen weergeven en verwerken;*
- ze ervaring opdoen in het gebruik van instrumenten (en ook enige bekendheid met de aan experimenten verbonden gevaren, inclusief brandgevaar);*
- ze enig inzicht krijgen in de manier waarop natuurkundige kennis verworven wordt, namelijk door het combineren van waarneming, redenering, hypothese, gerichte proef, controles, etc.;*
- ze hun eigen ambities en vermogens op dit gebied gewaarworden, zoals nodig is in verband met de keuze van mogelijke richtingen in de school na de onderbouw, resp. de keuze van andere studie of beroep.*

b. Bekendheid met resultaten der natuurkunde.

- Dit betreft een hoeveelheid geordende natuurkundige kennis (begrippen, feiten, wetten, e.d.). Het betreft ook de verklaring van een aantal bekende en nieuwe verschijnselen; onder meer begrip van wat men om zich heen ziet in de natuur (“natuurkunde van het vrije veld”) en in techniek en huishouding (“natuurkunde van het dagelijks leven”) met de mogelijkheid om daardoor werk en hobby’s beter te doen.*

c. Bekendheid met technische toepassingen der natuurkunde.

- Dit betreft de natuurkundige principes bij enige technische onderwerpen, zoals energiebronnen en energietransport (bijv. elektrisch). Gewenst is dat tevens het economisch belang ervan ter sprake komt, vooral wanneer dat niet reeds in andere lessen in de school voldoende gebeurt.”*

We kunnen concluderen dat deze commissie een en ander veel uitgebreider heeft geformuleerd dan voorgaande commissies, en daardoor ook duidelijker, maar dat de

³⁹ In de artikelen ‘Het “Wasteland”: een waarschuwing?’ (*Faraday*, 47, 95-101, 1978) en ‘Rommelen in de marge’ (*Faraday*, 47, 170-178, 1978) heb ik hier indertijd aandacht voor gevraagd.

inhoudelijke kern niet wezenlijk anders is. Wel is het opvallend dat nu de ‘beoefening der natuurkunde’ voor het eerst zo uitvoerig wordt beschreven. Het is dan ook de tijd van de doorbraak van het practicum op de scholen, waartoe deze commissie zeker belangrijk heeft bijgedragen⁴⁰. Opvallend is ook de expliciete benadrukking van de natuurkunde van het dagelijks leven, alhoewel ook hier de opmerking gemaakt kan worden dat men waarschijnlijk wat al te optimistisch is geweest ten aanzien van de praktische toepasbaarheid van de te onderwijzen natuurkundige principes. Een ander punt is dat deze doelformuleringen vooral zijn opgesteld vanuit het gezichtspunt van de fysicus, dus van diegene die het bedoelde kennisbestand beheerst en die dus ook ziet hoe je dat alles kunt gebruiken in een veelheid van situaties. Maar daarmee werd, mijns inziens, te weinig stil gestaan bij hoe, van onderop gezien, een leerling zich in dat soort situaties nog moet leren zich natuurkundig te redden. Deze transfer naar het dagelijks leven is immers veel moeilijker gebleken dan toen lijkt te zijn gedacht. Natuurlijk is het zo dat uit dit soort doelstellingen nooit rechtstreeks valt af te leiden welke specifieke inhouden en werkwijzen nu precies deel moeten gaan uitmaken van het onderwijsprogramma. Daaraan liggen, hoe dan ook, nog aanvullende aparte keuzen ten grondslag, die zich pas doen gelden bij de invulling van de noodzakelijk geachte inhoudelijke vernieuwing. De CMLN schreef hierover: *“Men zij voorzichtig met de gedachtegang dat modernisering van het natuurkundeleerplan noodzakelijk moet inhouden de invoering van bijv. veel kernfysica of van een kennismaking met de fysica der elementaire deeltjes. Wegens de zeer beperkte beschikbare tijd in de onderbouw dienen de onderwerpen zorgvuldig tegen elkaar afgewogen te worden. Men mag niet onderwerpen uit de oudere natuurkunde schrappen, zomaar omdat ze oud zijn; vele ervan zijn nog even waar en even belangrijk als bij de vorige herziening van de leerstof.”* Een overweging die heden ten dage, ook voor de bovenbouw, nog niets aan waarheid verloren heeft. Desalniettemin heeft de CMLN-bovenbouw commissie wel degelijk redelijk vergaande voorstellen gedaan om de inhoud van het programma behoorlijk te updaten⁴¹. In haar overwegingen werd de CMLN overigens sterk beïnvloed door ontwikkelingen die toentertijd, met name in de USA en het UK, hadden plaatsgevonden en die daarom nu eerst zullen worden beschreven.

2.4 Achtergronden van de ‘curriculum wave’

Goed natuurwetenschappelijk onderwijs werd steeds meer gezien als essentieel voor de economische ontwikkeling en, in de tijd van de koude oorlog, zelfs voor de veiligheid van de westerse samenleving. Een overtuiging die zijn bekrachtiging vond in wat, overigens ten onrechte, de ‘spoetnik-shock’ is gaan heten. Op grond daarvan werd er,

⁴⁰ Practicum had ondertussen wel meer aandacht gekregen, ook al was nog niet echt duidelijk wat je daarvan nu precies mag verwachten, zoals werd onderzocht in het proefschrift van Ph. Steller (1964): *Handigheid of Inzicht?* Utrecht: Pressa Trajectina.

⁴¹ Dit kwam vooral tot uiting in de zogenoemde keuzegroepen, die omdat hun aantal en inhoud niet vastlag en vanwege de mogelijkheid van examinering in het schoolexamen, ook een zekere dynamiek in het programma mogelijk maakten. Belangrijke vernieuwende onderwerpen waren: Astrofysica, Weerkunde, Vaste stof fysica, Fysische informatica, Natuurkunde in de samenleving. Ook is er geëxperimenteerd met Quantumfysica en Relativiteitstheorie.

om de crisis in dat onderwijs te bezweren, grootschalig geïnvesteerd in curriculumvernieuwing voor de natuurwetenschappen. En de daaruit voortvloeiende verrassende indrukwekkende producten hadden inmiddels ook ons land bereikt.

In december 1959 vond er in Woods Hole (USA) een conferentie plaats waarin wetenschappers uit alle betrokken vakdisciplines, tezamen met onderwijsdeskundigen en onderwijspsychologen, zich bogen over de vraag hoe het Amerikaanse natuurwetenschappelijk onderwijs op primair en secundair niveau ingrijpend kon worden verbeterd. In het voorwoord van het verslag van deze conferentie, zijn beroemde boek 'The Process of Education' (1960)⁴², schreef de psycholoog Bruner over zijn "*conviction that we were at the beginning of a period of new progress in, and concern for, creating curricula and ways of teaching science, and that a general appraisal of this progress and concern was in order, so as to better guide developments in the future.*"

Het optimisme dat hieruit spreekt werd in die tijd ook overgebracht naar andere landen, resulterend in de welbekende eerste curriculumgolf van de jaren zestig en zeventig van de vorige eeuw. Een golf die het natuurwetenschappelijk onderwijs wereldwijd heeft overspoeld, tot in ons land toe. Nu, ruim 50 jaar later, terwijl we, wereldwijd, opnieuw middenin allerlei nieuwe curriculumontwikkelingen zitten, is het daarom misschien nog niet zo gek om onszelf af te vragen wat voor vooruitgang al deze curriculumontwikkelingsprojecten ons nu eigenlijk hebben gebracht. Om deze reflectie enigszins te structureren, lijkt het instructief om preciezer te kijken naar wat zo rond 1960 als hoofdproblemen en perspectieven werden gezien. Laat ik daarom eerst Bruner's belangrijkste conclusies, gerangschikt volgens een aantal thema's, kort samenvatten.

1 Wat betreft 'het belang van structuur', een eerste hoofdthema, werd het volgende geconcludeerd: "*... the curriculum of a subject should be determined by the most fundamental understanding that can be achieved of the underlying principles that give structure to that subject. Teaching specific topics or skills without making clear their context in the broader fundamental structure of a field of knowledge is uneconomical in several deep senses. In the first place, such teaching makes it exceedingly difficult for the student to generalize from what he has learned to what he will encounter later. In the second place, learning that has fallen short of a grasp of general principles has little reward in terms of intellectual excitement. (...) Third, knowledge one has acquired without sufficient structure to tie it together is knowledge that is likely to be forgotten.*"

Voor zover het de keuze van inhouden betreft, komt dit idee van 'structure-of-the-discipline' redelijk goed overeen met wat academische fysici, ook in ons land, gewoonlijk het belangrijkste vinden om te onderwijzen. Bruner voegde hier echter een psychologische rationale aan toe: transfer, uitdaging en retentie.

2 Voor wat betreft een tweede thema, 'readiness for learning', poneerde Bruner zijn befaamde en sindsdien veel bediscussieerde mening dat elk onderwerp op de een of andere intellectueel eerlijke manier effectief aan elk kind in elk ontwikkelingsstadium onderwezen kan worden. Deze hypothese werd geacht op drie aspecten betrekking te

⁴² Deze conferentie wordt vaak als het begin gezien van de zogenoemde 'curriculum wave' en daarmee ook van professionele curriculumontwikkeling als zodanig. Vandaar dat ik Bruner hier uitgebreid aan het woord laat, om het beginpunt vast te leggen. Maar het verderop beschreven PSSC-project was al eerder gestart, zelfs al voor de lancering van de Spoetnik.

hebben: het proces van intellectuele ontwikkeling van kinderen, de ‘act of learning’ (in het bijzonder ‘the act of discovery’), en de notie van een ‘spiral curriculum’. Sindsdien hebben deze aspecten veel aandacht gekregen in de curriculumontwikkeling, zoals we nog zullen zien.

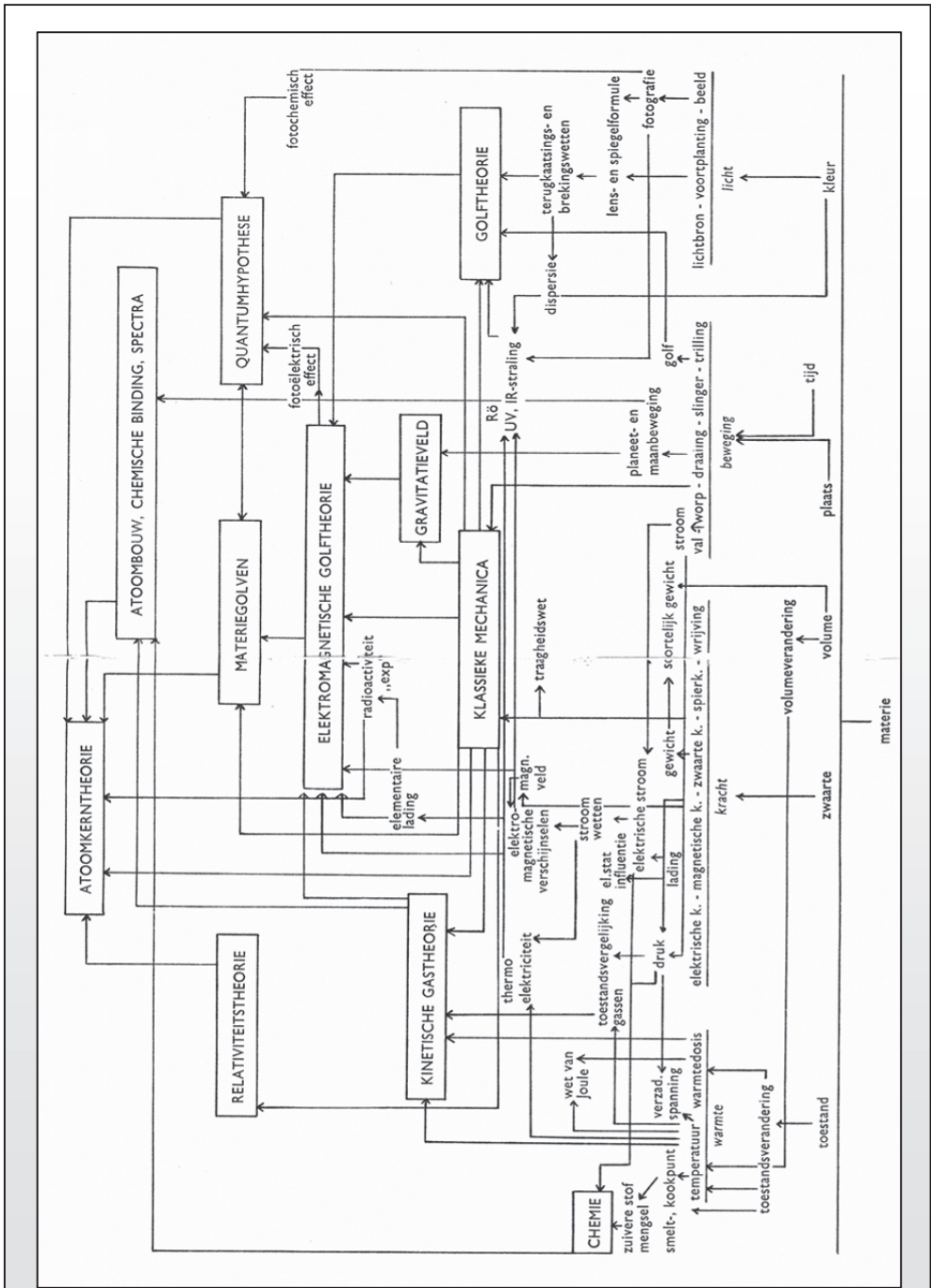
3 Een derde thema heeft betrekking op het feit dat, zoals werd gezegd, “*the emphasis in much of school learning and student examining is upon explicit formulations, upon the ability of the student to reproduce verbal or numerical formulae. It is not clear, in the absence of research, whether this emphasis is inimical to the later development of good intuitive understanding – indeed, it is even unclear what constitutes intuitive understanding.*”

“Usually,” werd gezegd, “*intuitive thinking rests on familiarity with the domain of knowledge involved and with its structure*”. Echter, “*the complementary nature of intuitive and analytic thinking should be recognized*”, in het bijzonder omdat “*the formalism of school learning has somehow devalued intuition*”. Dit leidde tot de vraag: “*Will the teaching of certain heuristic procedures facilitate intuitive thinking? For example, should students be taught explicitly: When you cannot see how to proceed with the problem, try to think of a simpler problem that is similar to it; then use the method for solving the simpler problem as a plan for solving the more complicated problem?*” In deze uitspraken zien we een voorafschaduw van de ‘cognitive swing’ die de onderwijspsychologie sindsdien heeft doorgemaakt, en die ook veel invloed heeft gehad op het onderzoek op het gebied van het natuurkundeonderwijs.

4 Met de uitspraak “*In assessing what might be done to improve the state of the curricular art, we are inevitably drawn into discussion of the nature of motives for learning and the objectives one might expect to attain in educating youth*” wordt een vierde thema geïntroduceerd. Een thema dat speelt op alle onderwijsniveaus, van de individuele docent en leerling in de natuurkundeles tot de rol van het natuurkundeonderwijs in de maatschappij als geheel.

5 Ten slotte, voor wat betreft de onderwijshulpmiddelen, werd geconcludeerd dat “*the teacher’s task as communicator, model and identification figure can be supported by a wide use of a variety of devices that expand experience, clarify it, and give it personal significance.*” Alleen al vanwege de opkomst van de ‘personal computer’ lijkt dit thema sindsdien een volledig nieuwe betekenis voor het natuurkundeonderwijs te hebben gekregen (in vergelijking met de ‘teaching machines’ van de jaren vijftig en zestig).

Zoals al vermoed is het frappant om te zien hoeveel van het bovenstaande vandaag nog steeds relevant is. In onze curriculumontwikkeling en in ons onderwijs en didactisch onderzoek worstelen we nog steeds met dezelfde problemen. Onderwijzen we nu (of nog steeds?) de structuur van de discipline, zoals Bruner adviseerde? Hebben we nu natuurkundecurricula die inderdaad zijn aangepast aan de cognitieve ontwikkeling van kinderen, en zo ja, op welke manier hebben we dat dan gedaan? Is het ruimte geven voor ontdekkend leren nog steeds een belangrijke onderwijsstrategie in het natuurkundeonderwijs? En op welke doelen richten we ons nu, en hoe gaan we om met de motivatieproblematiek? In ieder geval werd toen gemeend dat we hiervoor niet langer konden volstaan met het ‘gewone’ schrijven van leerboeken door ervaren docenten, maar dat een professionele wijze van curriculumontwikkeling nodig was, waarin fysici, docenten, onderwijspsychologen en mediadeskundigen moesten samenwerken, als een verondersteld noodzakelijk middel om de crisis in het onderwijs het hoofd te kunnen bieden.



Figuur 3. De 'structuur van de discipline', didactisch geordend van de meest elementaire begrippen naar de meest complexe theorie. Uit: Auer²⁵.

2.5 De eerste golf: de structuur-van-de-discipline

Het eerste grote project, de PSSC physics course, hoofdzakelijk bedoeld voor “*the academically superior college-bound students*”, heeft wereldwijd grote invloed gehad (PSSC, 1960)⁴³. Het is interessant om even stil te staan bij de argumenten voor de door dit project beoogde vernieuwing⁴⁴. Deze argumenten waren dat de bestaande traditionele leergangen 1) een halve eeuw achter waren op de stand van de wetenschap, 2) zo overladen waren met details dat ze niet behoorlijk behandeld konden worden in de beschikbare tijd, 3) geen enkele structuur vertoonden, maar slechts een losse verzameling van onderwerpen waren, en 4) zo beheerst werden door toepassingen dat de natuurkunde als wetenschap niet tot haar recht kwam.

Het is frappant hoe deze argumenten niet alleen van alle tijden lijken te zijn, maar ook hoe ze eenduidig wijzen in de richting van een nieuw curriculum, gericht op het onderwijzen van de structuur van de discipline. Het project had in dit opzicht een duidelijk vernieuwende opzet, door Matthews⁴⁵ als volgt beschreven: “*Its intention was to focus upon the conceptual structure of physics, and teach the subject as a discipline: applied material was almost totally absent from the text. Air pressure for instance is not mentioned in the index, it is discussed in the chapter on ‘The Nature of Gases’, and the chapter proceeds entirely without mention of barometers or steam engines, the former making its first appearance in the notes to the chapter.*”

Naast een leerboek (zie figuur 4) en een docentenhandleiding, beide van hoge kwaliteit, ontwikkelden zij ook veel innovatieve hulpmiddelen, met name voor het uitvoeren van demonstraties en leerlingexperimenten. Veel daarvan zijn sindsdien, ook in ons land, gemeengoed geworden. Op die manier gaven ze vorm aan het idee van ‘*being a scientist for the day*’ en ‘*the act of discovery*’ dat als het ware hun credo was voor de gewenste activiteit van de leerling.

Deze karakteristiek leek, zo mogelijk, zelfs nog meer van toepassing te zijn op de minstens zo invloedrijke Engelse Nuffield Physics projecten (O-level, 11-16; A-level, 16-18). Ook deze projecten (zie figuur 5) focusseerden grotendeels op het onderwijzen van de disciplinaire basisstructuur, maar op een wat andere manier, gegeven ook de andere structuur van het Engelse onderwijssysteem. Of, zoals Eric Rogers, de grote man achter Nuffield O-level Physics, het formuleerde: “*We must not expect to train our young people to be ‘scientific’, with the full knowledge and practice of some mysteriously ideal scientific method. We shall have little hope of finding our non-scientists living their lives after school with a good understanding of science, transferred from science courses to life in general, if we fill them up with information and tell them we must get it back in examinations in identical wording, or if we drag them through artificial calculations based on memorized formulae. Instead I suggest we should teach less material and omit some topics so that the syllabus is not too crowded, so that there is time to teach for understanding. Then pupils will emerge ready and able to read any more they wish. And for the things we do teach we should choose topics that have many uses. I do not mean practical applications,*

⁴³ Physical Science Study Committee (1960). *Physics*. Boston: Heath & Co.

⁴⁴ D. van Genderen, Th. Heij & J.F. Schröder (1972). Leerplanontwikkelingsprojecten voor natuurkunde. *Faraday*, 42, 29-36.

⁴⁵ M. Matthews (1994). *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science*. London: Routledge.

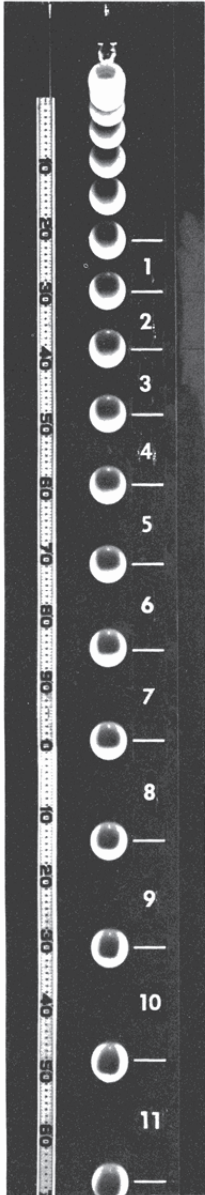
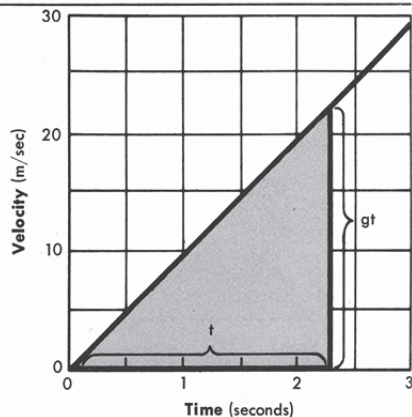


Table 2

Interval Number	Interval Length $\Delta x(\text{cm})$	Average Velocity $\Delta x/\Delta t = v(\text{cm/sec})$	Change in Velocity $\Delta v(\text{cm/sec})$	Acceleration $\Delta v/\Delta t(\text{m/sec}^2)$
1	7.70	231	32	9.6
2	8.75	263	31	9.3
3	9.80	294	32	9.6
4	10.85	326	34	10.2
5	11.99	360	33	9.9
6	13.09	393	32	9.6
7	14.18	425	32	9.6
8	15.22	457	32	9.6
9	16.31	489	35	10.5
10	17.45	524	32	9.6
11	18.52	556		
Average acceleration				9.8

The analysis of the motion shown in Fig. 21-2. The calculated values of the acceleration are constant within the limits of accuracy of our measurements. Even though an accurate ruler was brought right up to the picture of the ball, the last significant figure in the Δx column is quite uncertain; just a reasonable estimate of a fraction of a millimeter. It has been retained, however, to reduce successive errors that would accumulate if we rounded off early. Notice that we have kept only three significant figures in the velocity column.

21-3. A velocity-time graph of a freely falling body. The distance fallen is given by the area under the curve — the area of the triangle with base t and height gt . This area is $\frac{1}{2}gt^2$.



21-2. A flash photograph of a falling billiard ball. The distance scale is in centimeters, and the time interval between successive positions of the ball is $\frac{1}{30}$ second. This motion is analyzed in Table 2.

We have limited our attention to compact, dense objects carefully selected to minimize the frictional resistance of the air. But if you drop a ping-pong ball it falls only a short distance before the force of air resistance balances the force of gravity, and the ball moves at constant speed. In general, air resistance becomes greater with higher speed. Therefore, if an object falls far enough, it will gain so much speed that the air resistance

Figuur 4. Een pagina uit het PSSC-leerboek, waarin het gebruik van stroboscopische foto's wordt geïntroduceerd.

16 Vibrators and tickertape

61

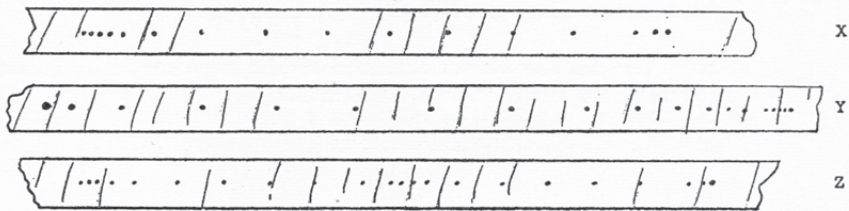


Figure 133

133 Which of the above tapes shows motion that:

- Slowed down then speeded up again?
- Reached the fastest speed?

Give the reason for each answer.

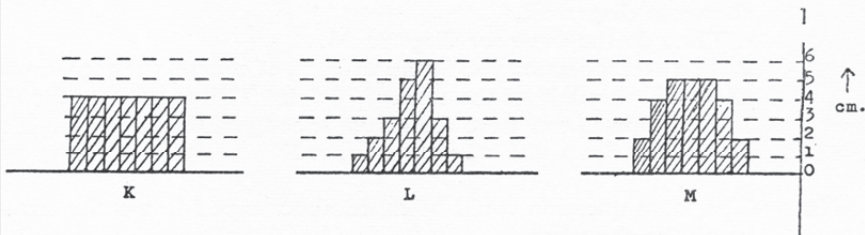


Figure 134

134 Diagrams K,L,M show pieces of tickertape cut off 'every ten ticks' and pasted side by side. In each case there are seven pieces, and the heights are shown in cm. The dots at the start and the end of each run were too close to count properly, so only the middle sets of ten ticks (70 in all) are shown.

- Describe briefly the kind of motion followed by the person or object pulling the tape through if the result is (i) like K; (ii) like L; (iii) like M.
- So far as you can tell from the diagrams which tape showed the fastest speed, and what was that speed: (i) in cm per ten ticks (remember that each length of tape corresponds to a time of ten ticks); (ii) in cm per second, if the vibrator used tapped out 50 dots in one second?
- Actually it seems likely that the fastest speed reached was more than that calculated in (b), though for a shorter time than ten ticks. Why is this?

*but rather linkages with other parts of physics. Science should appear to our pupils as a growing fabric of knowledge in which one piece that they learn reacts with other pieces to build fuller knowledge.*⁴⁶

De manier waarop getracht werd het ‘teaching for understanding’ te bereiken was nogal revolutionair. Zo leer je natuurkunde niet uit een boek, volgens hun opvatting, maar door experimenteren, redeneren en discussiëren. De leerling kreeg daarom alleen een ‘Questions Book’, de docent een ‘Guide to Experiments’ en een ‘Teachers’ Guide’. Het O-level project richtte zich naast ‘teaching for understanding’, ook op ‘physics for all’, zoals het werd omschreven. Later realiseerde men zich echter dat ook hun aanpak toch niet zozeer gericht was op ‘physics for all’, zoals men het had bedoeld, maar eigenlijk veel beter geschikt was voor de meer begaafde, wetenschappelijk georiënteerde leerling. Om hun feitelijke rationale beter tot uitdrukking te brengen is deze daarom later wel omschreven als ‘physics for the inquiring mind’. Dat ze hierin toch een stap terug moesten doen, kwam onder andere tot uiting in het feit dat in latere versies weer werd teruggegrepen op een ‘gewoon’ leerboek voor de leerlingen.

- | | |
|--|-------------------------------------|
| 1 Materials and Structure | 6 Electronics and reactive circuits |
| 2 Electricity, electrons and energy levels | 7 Magnetic fields |
| 3 Field and potential | 8 Electromagnetic waves |
| 4 Waves and oscillations | 9 Change and chance |
| 5 Atomic structure | 10 Waves, particles and atoms |

Figuur 6. De titels van de units van Nuffield Advanced Physics.

Een speciaal aspect van de tot nu toe genoemde curricula is dat zij met name ook een voorbeeldrol hebben gespeeld met betrekking tot het vanuit disciplinair standpunt inhoudelijk ‘updaten’ van het natuurkundeonderwijs, in het bijzonder met betrekking tot het onderwerp ‘moderne natuurkunde’. French⁴⁷ beschreef enkele van de belangrijkste keuzen van het PSSC-team als volgt: *“The most basic and universal features of the physicist’s description of nature – such matters as orders of magnitude and the effects of changes of scale – would be stressed. There would be a unifying theme – the atomic, particulate picture of the universe – in the presentation and discussion of the subject matter. Also, in the interests of achieving depth of treatment, substantial areas of traditional material (such as sound) would be omitted”*. En, zoals de ontwikkelaars van Nuffield A-level (figuur 6) zeiden: *“One of our basic decisions has been to sacrifice a wide acquaintance with many ideas for a deeper understanding of fewer.”*

Volgens dit principe hebben zij inderdaad sterk vernieuwende en didactisch schitterende inleidingen tot onderwerpen als quantummechanica, statistische mechanica en elektronica ontwikkeld (op ‘advanced’ niveau), die tot op de dag van vandaag de moeite van het bestuderen meer dan waard zijn. Deze hebben ook hun invloed doen gel-

⁴⁶ Deze projecten werden gefinancierd door de daartoe opgerichte Nuffield Foundation. O-level staat voor ‘ordinary level’, dat is voor leerlingen in de leeftijd van 11-16 jaar. A-level staat voor ‘advanced level’, en wordt gekozen door leerlingen van 16-18 jaar. Nuffield O-level Physics (1966). London: Longman; Nuffield Advanced Science: Physics (1971; revised version: 1986). Harlow: Longman.

⁴⁷ A.P. French (1986). Setting new directions in physics teaching: PSSC 30 years later. *Physics Today*, September, 30-35.

den in onder andere de meest recente poging om ook in ons land aandacht te besteden aan quantumfysica. Vanwege de snelle ontwikkeling van de natuurkunde zelf, hebben we, qua updating, inmiddels niet alleen te maken met basisideeën van quantummechanica en relativiteitstheorie, maar staan ook talloze andere onderwerpen steeds harder te kloppen op onze curriculumdeuren (zie bijvoorbeeld ook NINA). Deze snelle ontwikkeling veroorzaakt in feite een constante ‘top-down’ druk op het curriculum, resulterend in het serieuze gevaar dat het steeds meer overladen wordt. Wat dit betreft dient de structuur van de discipline, vanwege zijn grotendeels hiërarchische aard, niet alleen beschouwd te worden als een gids voor het curriculum, maar zeker ook als een hinderpaal, want daardoor is het meestal veel duidelijker wat er in het curriculum bij zou moeten, dan wat er uit kan worden weggelaten.

2.6 ... en het proces van de discipline


In de genoemde curriculumprojecten was er, alleen al door de nadruk op ‘ontdekkend leren’, ook veel aandacht voor het ‘proces van de natuurkunde’ en voor het leerlingen doen ervaren van een ‘ontdekkings- of onderzoeksproces’. In het PSSC-leerboek heet het dat *“physics is presented not as a mere body of facts but basically as a continuing process by which men seek to understand the nature of the physical world”*.

Leerlingen dienen niet alleen iets te leren over een proces dat anderen, en in het bijzonder ‘grote’ natuurkundigen, hebben doorgemaakt, ze moeten ook zélf dit proces ervaren. Om Rogers weer te citeren: *“Practical work is essential not just for learning material content, but for pupils to make their own personal contact with scientific work, with its delight and sorrows. They need to meet their own difficulties like any professional scientist and enjoy their own successes, so that the relation of scientific knowledge to experiment is something they understand.”*

Men zou dus kunnen zeggen dat deze nadruk op ‘proces’ in de eerste plaats om interne redenen werd gelegd. Het behoort tot het begrijpen van natuurkunde om te weten hoe natuurkundige kennis wordt gegenereerd en hoe het zich ontwikkelt. En omdat natuurkunde een empirische wetenschap is, wordt het als een onlosmakelijk deel van natuurkunde leren beschouwd om ook te leren hoe je zelf kennis van de natuur kunt vergaren door hypothesen te stellen, te testen en te experimenteren. In Harvard Project Physics (1970)⁴⁸, een ander groot Amerikaans project dat veel internationaal applaus heeft gekregen, werd de aandacht voor het interne proces van de natuurkunde echter geplaatst in een veel bredere intellectuele context (zie figuur 7). Ook externe invloeden werden nu in beschouwing genomen. In de beroemde woorden van Rabi: *“I propose science be taught at whatever level from the lowest to the highest, in the humanistic way. It should be taught with a certain historical understanding, with a social understanding and a human understanding in the sense of the biography, the nature of the people who made this construction, the*

⁴⁸ Harvard Project Physics Course (1970). New York: Holt. Dit project heeft in feite aan de wieg gestaan van het PLON-project. Op de Woudschotenconferentie in 1970 van de landelijke Werkgroep Natuurkunde-Didaktiek werd dit project gepresenteerd. De aanwezigen waren daarover zo enthousiast dat werd voorgesteld het projectmateriaal te vertalen en voor de Nederlandse situatie te bewerken. Het daaruit resulterende CMLN-projectvoorstel koos echter voor een andere aanpak.

2 Unit 3 The Triumph of Mechanics



real solar system. The masses, positions and velocities of the parts of the system, and the gravitational forces among them are well described. But the Newtonian model neglects the internal structure and chemical composition of the planets, heat, light, and electric and magnetic forces. Nevertheless, it serves splendidly to deal with observed motions. Moreover, it turned out that Newton's approach to science and many of his concepts became useful later in the study of those aspects he had to leave aside.

The idea of a world machine does not trace back only to Newton's work. In his *Principles of Philosophy* (1644), Rene Descartes, the most influential French philosopher of the seventeenth century, had written:


I do not recognize any difference between the machines that artisans make and the different bodies that nature alone composes, unless it be that the effects of the machines depend only upon the adjustment of certain tubes or springs, or other instruments, that, having necessarily some proportion with the hands of those who make them, are always so large that their shapes and motions can be seen, while the tubes and springs that cause the effects of natural bodies are ordinarily too small to be perceived by our senses. And it is certain that all the laws of Mechanics belong to Physics, so that all the things that are artificial, are at the same time natural.

Robert Boyle (1627-1691), a British scientist, is known particularly for his studies of the properties of air. (See Chapter 11.) Boyle, a pious man, expressed the "mechanistic" viewpoint even in his religious writings. He argued that a God who could design a universe that ran by itself like a machine was more wonderful than a God who simply created several different kinds of matter and gave each a natural tendency to behave as it does. Boyle also thought it was insulting to God to believe that the world machine would be so badly designed as to require any further divine adjustment once it had been created. He suggested that an engineer's skill in designing "an elaborate engine" is more deserving of praise if the engine never needs supervision or repair. "Just so," he continued,

... it more sets off the wisdom of God in the fabric of the universe, that he can make so vast a machine perform all those many things, which he designed it should, by the meer contrivance of brute matter managed by certain laws of local motion, and upheld by his ordinary and general concurrence, than if he employed from time to time an intelligent overseer, such as nature is fancied to be, to regulate, assist, and controul the motions of the parts. . . .

Boyle and many other scientists in the seventeenth and eighteenth centuries tended to think of God as a supreme engineer and physicist. God had set down the laws of matter and motion. Human scientists could best glorify the Creator by discovering and proclaiming these laws.

Our main concern in this unit is with physics as it developed after Newton. In mechanics, Newton's theory was extended to cover a wide range of



"The Ancient of Days" by William Blake, an English poet who had little sympathy with the Newtonian style of "natural philosophy."

Figuur 7. Een pagina uit het leerboek van Harvard Project Physics.

triumphs, the trials, the tribulations." Vanwege deze bijzondere nadruk, werd verwacht dat een veel bredere groep leerlingen (in het bijzonder meisjes) zouden kunnen worden aangetrokken. Vanuit het standpunt van de fysicus heeft ook dit project werkelijk schitterende curriculummaterialen ontwikkeld. Desondanks slaagde het er niet alleen niet werkelijk in om beduidend meer leerlingen aan te trekken, ook is hun historische

en filosofische benadering gedurende lange tijd slechts in geringe mate door anderen overgenomen. Pas recentelijk heeft deze curriculumfocus op geschiedenis en filosofie, alhoewel altijd wel op de achtergrond in meer of mindere mate aanwezig, een nieuwe impuls gekregen. Aandacht voor de ‘aard van de natuurkunde’, voor haar historische, epistemologische en methodologische aspecten is nu een regulier onderdeel van curricula aan het worden. In Engeland werd het zelfs opgenomen in het voorgeschreven National Curriculum. Uiteraard had dit ook zijn uitstraling naar ons land. Zo schreef ik in 1978⁴⁹ dat voor de verreweg grootste groep leerlingen die geen natuurwetenschappelijk georiënteerde vervolgopleiding gaan volgen, hun ‘schoolbeeld’ ten aanzien van natuurwetenschap “*volstrekt ontoereikend is om ook maar enigszins te kunnen doorzien hoe en in hoeverre ook hún wereld wordt beïnvloed door het complex van natuurwetenschap en techniek.*” En daarvoor zou dan veel ‘van de natuurkunde’ moeten worden vervangen door onderwijs ‘over de natuurkunde’. Een idee dat, achteraf gezien, vooruit bleek te lopen op het latere vak Algemene Natuurwetenschappen.

Historisch gezien hield het voorgaande in dat de nadruk (gedeeltelijk) verschoof van ‘teaching as inquiry’ (als een didactische strategie) naar ‘teaching about inquiry’ (het proces van de discipline als onderwijsdoel). Een zelfs nog sterkere verschuiving werd, voor het eerst in 1973, beschreven als ‘teaching of inquiry’ (onderzoeksvaardigheden als onderwijsdoel). Deze stap werd in extreme vorm uitgewerkt in een derde invloedrijke benadering, die voor het eerst werd ontwikkeld in het Amerikaanse SAPA-project, een afkorting die staat voor ‘Science, A Process Approach’⁵⁰. Zoals beschreven door de psycholoog Gagné: “*This project rejects the ‘content approach’ idea of learning highly specific facts or principles of any particular science or set of sciences. It substitutes the notion of having children learn generalisable process skills which are behaviorally specific, but which carry the promise of broad transferability across many subject matters.*”⁵¹

Conform de toenmalig geldende principes van het behaviorisme werd wetenschappelijk gedrag uiteengelegd in eenvoudiger wetenschappelijke procesvaardigheden, zoals observeren, classificeren, communiceren, gevolgtrekkingen maken, etc., die geacht werden als zodanig leerbaar en onderwijsbaar te zijn.

Natuurkunde leren door ‘natuurkunde te doen’⁵², is sinds de jaren zestig een bekende slogan geworden. Dit hebben we ook teruggezien in het beschreven CMLN-rapport. Zoals gezegd heeft het gebruik van ‘praktisch werk’ in het natuurkundeonderwijs sindsdien een grote vlucht genomen en is het een integraal onderdeel geworden van veel curricula en leerboeken. Zodanig zelfs dat de procesbenadering, zoals die wel genoemd wordt, net als in het SAPA-project, soms zelfs tot hoofddoel lijkt te zijn ge-

⁴⁹ P.L. Lijnse (1978). Natuurkunde op school? *Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde*, 44, 161-165.

⁵⁰ *Science, A Process Approach* (1968). AAAS. Dit verschil in benadering werd waarschijnlijk bevorderd door het feit dat dit project zich bezighield met het basisonderwijs. De invloed van de benadering strekte echter veel verder.

⁵¹ Het is interessant om op te merken dat vanuit psychologisch standpunt, om precies dezelfde reden, namelijk ‘transferability’, twee schijnbaar conflicterende benaderingen zijn gepropageerd. Aan de ene kant de nadruk op de ‘most general’ kennis (Bruner), en aan de andere kant de nadruk op de ‘most general’ processen (Gagné).

⁵² Pas recentelijk worden er weer vraagtekens gezet bij deze opvatting (zie verder).

worden. Ofwel dat het leren van experimentele vaardigheden een doel op zich is geworden, dat niet meer in functie staat van het doel van experimenteren, namelijk nieuwe kennis ontwikkelen. Dit sluit aan bij het debat over de vraag of men in het onderwijs nu de nadruk moet leggen op wetenschappelijke kennisverwerving of op verwerving van wetenschappelijke vaardigheden, dan wel dat het zinloos is om überhaupt deze scheiding te willen maken. Later zal ik hierop terugkomen.

Tegenwoordig is dit debat, naar het lijkt, meer actueel dan ooit omdat veel onderwijskundigen, zoals eerder beschreven bij de voorstellen voor Tweede Fase en Studiehuis, zelfs nog bredere algemene vaardigheden propageren. Niet alleen als een doel op zich, maar juist ook, zoals al voorgesteld door Gagné, als dé aangewezen manier om de dreigende ‘elefantiasis’ van onze curricula te kunnen bedwingen. Als je leerlingen immers leert om zelfstandig kennis te verwerven, hoef je die kennis zelf niet meer, of in ieder geval in veel mindere mate, op te nemen in het curriculum. Aldus in het kort de, volgens mij, belangrijkste daarvoor gebruikte drogredenering (zie verder).

2.7 Een tweede golf: doelverbreding en leerlinggerichtheid

Het SAPA-project is in het voorgaande eigenlijk een uitzondering, omdat het een project was voor de basisschool. Alleen al daarom was een inhoudelijke structure-of-the-discipline gerichte aanpak voor die brede categorie leerlingen daarin niet aan de orde. Dat verklaart ook de heel andere meer leerlinggerichte, psychologisch gemotiveerde aanpak. Inhoudelijk ging het ook niet alleen om natuurkunde, maar om science in brede zin. Wetenschappelijke denkprocessen, in de niet-inhoudelijke zin, zoals door Gagné bedoeld, zijn immers niet beperkt tot één wetenschappelijke discipline. In die zin kun je bij dit project ook spreken van doelverbreding. Beide kenmerken, leerlinggerichtheid en doelverbreding, kregen meer aandacht toen duidelijk werd dat de curricula die de structuur-van-de-discipline benadrukten, zoals eerder al gezegd, zowel qua rationale als qua cognitieve eisen, meer gericht leken te zijn op de begaafde wetenschappelijk geïnteresseerde leerling dan op de bedoelde ‘natuurkunde voor iedereen’. Daarmee een curriculumgat open latend voor wat betreft aandacht voor de minder begaafde, minder wetenschappelijk geïnteresseerde leerlingen. Voor die groep werden zowel (meer) geïntegreerde science-projecten, als technologieprojecten ontwikkeld. Een belangrijke rationale achter het geïntegreerde science-onderwijs was dat een verdeling in afzonderlijke disciplines niet samenvalt met de manier waarop leerlingen hun wereld ervaren⁵³. Alhoewel, leerlingen ervaren hun wereld net zo min op een geïntegreerde-science manier. Hoe dit ook zij, geïntegreerd science-onderwijs is in veel landen ingevoerd, alhoewel sommigen daarvan later weer zijn teruggegaan naar beter gecoördineerd science-onderwijs. Andere landen hebben deze trend zelfs helemaal weerstaan en zijn helemaal niet overgegaan op vakkenintegratie. In ons land heeft deze

⁵³ In de jaren tachtig heeft dit geleid tot een SLO-project voor het ontwikkelen van natuuronderwijs op de basisschool.

trend wél zijn invloed laten gelden, zowel bij het natuuronderwijs op de basisschool, als in de kerndoelen voor de onderbouw en de basisvorming⁵⁴. De vroege technologieprojecten zijn hoofdzakelijk ontwikkeld als activiteiten die konden worden toegevoegd aan het natuurkundecurriculum, waaruit een visie op technologie naar voren komt als voornamelijk bestaande uit toepassing van natuurkunde. Tegenwoordig wordt deze visie op technologie niet langer als adequaat beschouwd, waaruit de geleidelijke emancipatie van technologie als apart schoolvak is geresulteerd. Maar in ons land is de vraag wat te doen met technologie als schoolvak eigenlijk altijd een beetje blijven hangen (zie verder).

In de jaren zeventig en tachtig ontwikkelde zich geleidelijk nog een andere nadruk, die nu wordt aangeduid met STS, alhoewel deze afkorting nog steeds gebruikt wordt voor een scala van benaderingen. Eén daarvan betreft de expliciete reflectie op de relatie van wetenschap, technologie en maatschappij (bijvoorbeeld het Engelse ‘Science in Society’ project (SiS) en het Nederlandse project ‘Natuurkunde in de Samenleving’), met nadruk op maatschappelijke implicaties en problemen. Een andere aanpak geeft meer aandacht aan de relevantie van de te leren inhouden voor leerlingen, door natuurkunde te onderwijzen in contexten uit het dagelijks leven of maatschappij (bijvoorbeeld het Nederlandse PLON-project en het Engelse ‘Science and Technology in Society’ (Satis))⁵⁵. Globaal gesproken zijn beide benaderingen ook bekend geworden onder de naam ‘science for the citizen’ en ‘science for action’, of, neutraler, als gecontextualiseerd natuurkundeonderwijs.

Het SiS-project is een voorbeeld van een project waarin de maatschappelijke dimensie wordt behandeld als een toevoeging aan het reguliere curriculum. In het toenmalige PLON-project, echter, zijn aandacht voor wetenschapsgerelateerde maatschappelijke problemen, voor ‘consumenten-natuurkunde’ en andere ‘leerlingrelevante’ contexten geheel geïntegreerd in het natuurkundeonderwijs zelf. Dit was echter niet zonder problemen, omdat, wanneer de grenzen die aan een curriculum gesteld worden zodanig zijn dat het natuurkundecurriculum zijn identiteit van ‘echte’ natuurkunde moet behouden, een gecontextualiseerde benadering kan resulteren in aanzienlijke spanning tussen enerzijds de kennis die relevant lijkt voor de gekozen contexten en anderzijds dat wat zou moeten worden behandeld vanuit het puur disciplinaire perspectief. Ik kom daar nog op terug, omdat dit een van de kernproblemen is met de context-conceptbenadering, die richtinggevend moet zijn voor de huidige vernieuwingen van ons exacte onderwijs. Of, in andere woorden, men dient dan een niet eenvoudige balans te vinden tussen de ‘structuur van de discipline’ en de ‘structuur van de contexten’⁵⁶.

Beide benaderingen houden echter wel een duidelijke verbreding van traditionele doelen in, die je weer kunt relateren aan ‘natuurkunde voor iedereen’. Hoewel, in dit verband, deze slogan heel anders geïnterpreteerd moet worden dan hiervoor. In verband

⁵⁴ In ons land heeft een betere coördinatie, c.q. afstemming, tussen de curricula van de bètavakken pas de laatste jaren meer prioriteit gekregen.

⁵⁵ Zie www.satisrevisited.co.uk/m1.asp

⁵⁶ P.L. Lijnse, K. Kortland, H.M.C. Eijkelfhof, D. van Genderen & H.P. Hooymayers (1990). A thematic physics curriculum: A balance between contradictive curriculum aspects? *Science Education*, 74, 95-103.

met deze verbreding, moesten, in de jaren tachtig, trouwens ook nog andere nieuwe onderwerpen als, bijvoorbeeld, milieu en (informatie)technologie aan het curriculum worden toegevoegd. Op veel plaatsen werd en is het zaak van discussie of deze onderwerpen in het reguliere natuurkundeonderwijs moeten worden ingepast, dan wel dat ze als aparte vakken moeten worden onderwezen. En vanuit maatschappelijk standpunt deden zich nog meer problemen voor, zoals hoe het natuurkundeonderwijs aan te passen aan de behoeften van meisjes en aan die van een multiculturele samenleving. Waarmee de vraag zich stelt hoe breed we onze doelen eigenlijk wel kunnen maken om nog steeds te mogen spreken van natuurkundeonderwijs. Of kunnen we in het licht van dit soort ontwikkelingen natuurkunde als schoolvak maar beter opheffen? En daarmee zijn we in feite terug bij de al eerder vermelde discussie over de rol van de school.

2.8 Terug naar Nederlandse ontwikkelingen

Bij de bespreking van het rapport van de CMLN is al aangegeven dat dit sterk was beïnvloed door wat er in de USA en het UK aan vernieuwingsgedachten naar voren was gekomen. Ook los van de CMLN hadden deze buitenlandse invloeden toch al hun weg gevonden in een nieuwe generatie leerboeken, vooral wat betreft de rol van practicum en 'discovery learning' (zie figuur 8 en 9), die na het verschijnen van het CMLN-programma alleen nog daaraan moesten worden aangepast. Door al deze invloeden was er inmiddels ook een gevoel ontstaan dat in ons land, net als in vele andere landen, toch een meer fundamentele vernieuwing gewenst was. En daartoe werd een 'eigen project' in het leven geroepen: het PLON, het Project Leerpakket Ontwikkeling Natuurkunde⁵⁷. Dit heeft, in navolging van de beschreven buitenlandse curriculumontwikkelingsprojecten, langdurig gewerkt aan nieuwe curricula voor het Nederlandse natuurkundeonderwijs. Daarnaast heeft het internationaal een toonaangevende rol gespeeld voor wat betreft de mogelijkheden van contexten en een thematisch gestructureerd curriculum. Je zou kunnen zeggen dat het PLON de taak had de door de CMLN geformuleerde doelen te operationaliseren en te implementeren, maar dat zou onrecht doen aan de omvang van hun werk. De aanpak van het PLON moet in de eerste plaats gezien worden in de geest van die tijd, met name ten aanzien van de eerder beschreven veranderende opvatting over de rol van de school en de daarbij horende doelverbreding. Daarnaast speelde ook de al eerder genoemde kritischer houding ten aanzien van de maatschappelijke rol van wetenschap een duidelijke rol in hun werk. Op deze plaats wil ik nog niet ingaan op de inhoud van het ontwikkelde curriculum, maar me beperken tot de belangrijkste uitgangspunten van het PLON. Het doel hiervan is om aan te geven dat het PLON, door een integrale aanpak, zowel inhoudelijke als didactische vernieuwing in de breedste zin heeft nagestreefd. Tevens hoop ik daarmee te kunnen illustreren hoe groot de verschillen in aanpak en mogelijkheden zijn tussen het

⁵⁷ Dit project heeft, onder auspiciën van de CMLN, grootschalig gewerkt aan de ontwikkeling van nieuwe natuurkundecurricula voor MAVO, HAVO, VWO en ook nog enigszins voor het LBO. De looptijd van het project was van 1972 tot 1986.



Afb. 57 Als de pal wordt weggenomen schiet de horizontale staaf naar links. Op hetzelfde moment wordt de ene bal horizontaal weggeschoten en begint de andere bal te vallen.

* De valversnelling in het luchtledige hangt niet af van de aard van de lichamen.

12 Verklaar het afwijkende resultaat van het derde deel van bovenstaande proef.

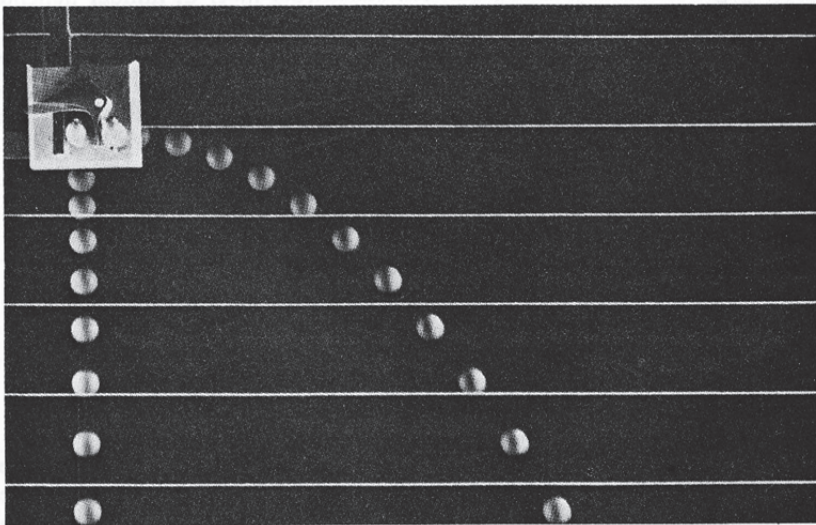
Proef

Tegelijkertijd wordt van dezelfde hoogte een kogel losgelaten en één horizontaal weggeschoten (afb. 57).

De kogels bereiken op hetzelfde moment de grond.

De valbeweging wordt niet beïnvloed door de horizontale beweging die het lichaam tegelijkertijd uitvoert.

Afb. 58 toont een serie flitsfoto's van twee golfballen, waarvan de ene



Afb. 58 De valtijd van een lichaam wordt niet beïnvloed door zijn horizontale beweging

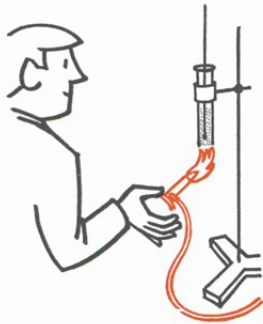


Fig. 249

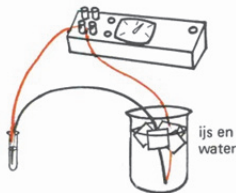
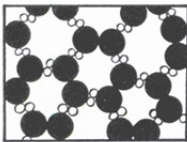


Fig. 250



IJS

Fig. 251

om 9500 kilocalorie warmte te krijgen? Ga na wat de tarieven voor gas en elektriciteit in je woonplaats zijn en vergelijk de kosten van gasverwarming met die van elektrische verwarming

12. Als alle elektrische energie die een hydro-elektrische centrale produceert gebruikt werd om het water te verwarmen dat de turbines passeert, zou de temperatuur van het water dan opgevoerd kunnen worden tot het kookpunt? Geef een globale berekening om je antwoord toe te lichten.

De prijs van de vrijheid

Om een vloeistof om te zetten in een gas (damp) is energie nodig. Kun je zeggen waar de energie vandaan komt in elk van de volgende gevallen?

Proef 11.4. (a) Laat een druppel van een vluchtige vloeistof, zoals ether of benzine, op de rug van je hand vallen. Laat de vloeistof snel verdampen door met je hand te zwaaien.

(b) Meet de temperatuur van ether in een gesloten fles en in een open schaalpje. Kun je de resultaten verklaren in verband met het ontsnappen van energierijke moleculen aan het oppervlak?

(c) Drenk een stukje vloeipapier in ether en wikkel het om het reservoir van een thermometer. Let op de aanwijzing.

Proef 11.5. Zet een thermokoppel in een beetje spiritus. Verklaar de aanwijzing van de stroommeter als het thermokoppel uit de spiritus wordt gehaald.

Proef 11.6. Zet een horlogeglas op een paar druppels water op een tafel. Giet nu wat ether in het horlogeglas en blaas lucht erover of erdoor. Wat gebeurt er en hoe verklaar je dit?

Als een vloeistof verdampt komt dit doordat sommige van de sneller bewegende moleculen het oppervlak verlaten en in de lucht erboven vliegen. De gemiddelde snelheid van de moleculen die achterblijven in de vloeistof wordt dus kleiner; dit wil zeggen: de gemiddelde kinetische energie ($\frac{1}{2} m \bar{v}^2$) wordt kleiner en de temperatuur wordt dus lager.

Proef 11.7. (a) Verwarm voorzichtig wat naftaleenpoeder in een reageerbuis (Fig. 249), totdat de temperatuur ongeveer 100°C is. Neem nu de bunsenbrander weg en lees de temperatuur van het naftaleen af met tussenpozen van 30 seconden. Roer tussen de aflezingen door het naftaleen voorzichtig met de thermometer.

Teken een grafiek van je resultaten en licht de vorm toe.

(b) Deze proef kan veel sneller uitgevoerd worden met een geijkt thermokoppel (Fig. 250) en een klein buisje met naftaleen.

Smeltwarmte

In een vaste stof trillen de moleculen heen en weer in het kristalrooster (Fig. 251). Om de aantrekking tussen de moleculen zover te overwinnen dat deze ordening verloren gaat is energie nodig. Daardoor krijgen de moleculen meer vrijheid; in de vloeibare fase kunnen ze rondzwerven (Fig. 252).

Figuur 9. Een pagina uit 'Natuurkunde Doen' (J. Jardine, z.j.), een uit het Engels vertaalde en bewerkte methode die sterk geënt was op het ontdekkend leren volgens Nuffield.

werk van goedwillende ad hoc vernieuwingscommissies⁵⁸ (zoals bijvoorbeeld de CMLN en NINA) en van professionele curriculumontwikkelingsprojecten. Als algemene uitgangspunten formuleerde het PLON⁵⁹ bijvoorbeeld: *“In de eerste plaats zien we de leerling als een jong mens met eigen ideeën, wensen en eigenschappen die in een periode van ontwikkeling en groei is. Daarna zien we de leerling als een lerende in een onderwijssituatie.”* En vervolgens: *“Het leren van de leerling is een individueel proces, gestuurd door het onderwijsleerproces. Wij zouden er bij het construeren van onderwijsleerpakketten zorg voor moeten dragen dat iedere leerling vanuit zijn eigen karakteristieke beginsituatie een voor hem optimaal leerproces kan doormaken. Dit impliceert een aanpak met ruime differentiatiemogelijkheden. Daarbij gaat het er vooral om de leerling tot leren te motiveren en om het instrumentarium ter beschikking te stellen dat de leraar en de leerling kan helpen de stappen in het onderwijsleerproces optimaal te kiezen.”*

Over de school wordt onder andere het volgende gezegd: *“Naast de directe overdrachtsfunctie van de school zal zij zich ten doel stellen de leerling in zijn persoonlijke ontwikkeling en zijn sociale ontwikkeling te begeleiden en te ondersteunen. Dat vraagt aandacht voor persoonsvormende en sociale doelen en aandacht voor individuele verschillen, zowel van personele als relationele kenmerken.”*

Deze uitgangspunten worden vervolgens verder uitgewerkt en specifieker geformuleerd. Ook daarvan wil ik enkele voorbeelden geven.

Zo worden ten aanzien van de leerinhouden onder andere de volgende punten geformuleerd:

- “1. de leerling moet de beschikking krijgen over mogelijkheden (disposities) om op het natuurwetenschappelijk aspect van de wereld creatief te reageren;*
- 2. bij de leerling moet een zekere bereidheid en bekwaamheid ontstaan om ook buiten de klas zelfstandig kennis te verwerven en toe te passen;*
- 3. het onderwijs moet bijdragen aan de persoonlijke en sociale ontwikkeling van leerlingen;*
- 4. de natuurkundelessen moeten er toe bijdragen dat de leerling zijn mogelijkheden en beperkingen leert (ver)kennen;*
- 5. het natuurkundeonderwijs moet betekenis hebben buiten de school en voor de individuele leerling herkenbaar zijn in zijn omgeving;*
- 6. natuurkundeonderwijs is er voor iedereen; het mag niet alleen betekenisvol zijn voor een qua aanleg of verworvenheden beperkte categorie leerlingen;*
- 7. in het natuurkundeonderwijs moeten zowel algemeen vormende als propedeutische doelen worden nagestreefd; in de onderbouw moet de nadruk vallen op algemeen vormende doelen;*
- 8. iets van de sociaal-culturele context van de natuurkunde moet aan bod komen (historie samenleving);*
- 9. in de onderbouw moet de leerling een goede kijk krijgen op relaties tussen natuurkunde en andere vakken;*

⁵⁸ Eerder heb ik beschreven hoe de uitgangspunten van het PLON te beschrijven waren met de ambitieuze termen ‘vermenselijking’ en ‘vermaatschappelijking’, als weerspiegeling van een verschuiving in onderliggende dominante mens- en maatschappijbeelden. P.L. Lijnse (1982). *Teaching physics in a changing society*. In: G. Marx (Ed.), *Nuclear Physics, Nuclear Power* (pp. 374-395). Budapest: GIREP.

⁵⁹ Ontleend aan P.L. Lijnse (1977). *Doelstellingen en natuurkundeonderwijs: een beknopte inleiding*. In: *Didactiek van de Natuurkunde, een verzameling artikelen* (p. 93). Utrecht: Vakgroep Natuurkunde Didactiek.

Ontwikkelingen in natuurkundeonderwijs

10. in de schoolnatuurkunde moet meer de nadruk liggen op de methoden van het vak dan op de inhouden van het vak; (...)

Dit zijn nog vrij algemeen geformuleerde uitgangspunten, die inderdaad een grote mate van overeenkomst hebben met de CMLN-formuleringen. Deze algemene uitgangspunten werden vervolgens vertaald in specifieke uitgangspunten voor vormgeving van activiteiten van leraar en leerlingen, zoals de volgende selectie wil illustreren:

“1. Bij de voorbereiding zal de leraar er ook aan moeten denken hoe hij zijn leerlingen daarbij betreft. Het zal mogelijk moeten zijn (onder andere door voldoende tijd) dat de leraar samen met zijn leerlingen zelf activiteiten kiest;

2. de leraar is ook ‘mentor’ door de leerling bewust te maken van zijn eigen studiedeag;

3. de leraar heeft behalve een leidende ook een begeleidende rol in de zin van het stimuleren en in banen leiden van lesideeën van de leerlingen en het helpen bij het vormgeven daarvan, zonder daarbij fouten van leerlingen persé te voorkomen;

4. de lessen zijn open situaties waarbij van te voren vaak niet vaststaat wat het resultaat zal zijn en waarbij de verantwoordelijkheid voor het resultaat meer bij de leerling of bij een groep ligt dan bij de leraar;

5. in de opbouw van de lessen moet voldoende studievrijheid worden ingebouwd om de leerlingen zelfstandig kennis te laten verwerven en hen verantwoordelijkheidsgevoel bij te brengen;

6. bij het aanbieden van leermateriaal moet je er rekening mee houden dat in het huidige schoolsysteem open leersituaties kunnen leiden tot onzekerheid en angst bij de leerlingen (en de leraar);

7. er moet met leermateriaal ook op hoog niveau gewerkt kunnen worden, om leerlingen in de gelegenheid te stellen hun eigen mogelijkheden te verkennen;

8. een deel van de lestijd zijn leerlingen met verschillende onderwerpen bezig;

9. leervormen worden gevarieerd gebruikt. De doceervorm wordt bewust gebanteerd en afgewisseld met gespreksvormen en groepswerk;

10. buitenschoolse activiteiten van leerlingen kunnen in de onderwijsleersituatie gebruikt worden. Dit vraagt dat leeractiviteiten een zekere vrijheid in vormgeving hebben;

11. continue evaluatie is nodig: behalve dat de leerling op gezette tijden geëvalueerd moet worden, is er evaluatie nodig van het onderwijsproces, waarin leraar en leerlingen gezamenlijk participeren;

12. de leerling moet zijn eigen leren controleren en bijsturen in overleg met de leraar en door gebruik te maken van geschikt materiaal;

13. er moet gewaakt worden voor negatieve effecten van beoordeling die bijvoorbeeld optreden wanneer het beoordelingssysteem de prestatiemotivatie en competitiedrang activeert; (...)

In deze punten wordt aandacht besteed aan de brede rol van de docent, de vormgeving van (open) onderwijsleersituaties, de mogelijkheid van differentiatie, de vormgeving van leermateriaal, het gebruik van werkvormen, inpassing van buitenschoolse activiteiten en de vormgeving van toetsing. Hieruit blijkt dat het PLOON eerst een brede integrale onderwijsvisie heeft geformuleerd, waaruit duidelijk wordt hoe, door inhoud en vormgeving van onderwijsleersituaties adequaat te kiezen, gewerkt kan worden aan de verwezenlijking van een breed scala van doelen. Ook in de natuurkundeles. Deze visie was noodzakelijk omdat het project startte met de ontwikkeling van het MAVO-curriculum, een schooltype waarvoor de gebruikelijke academische invalshoek voor de vormgeving van natuurkundeonderwijs nu eenmaal niet de meest geëigende was. In

veel opzichten was het PLON zijn tijd daarmee ver vooruit. Zo herkennen we in de geciteerde uitwerkingen aspecten ten aanzien van de zelfstandigheid van de leerling en de bevordering van metacognities, die later pas met de invoering van de Tweede Fase algemeen zijn ingevoerd (en inmiddels weer zijn afgeschaft?). Het PLON-curriculum is echter nooit grootschalig geïmplementeerd, omdat men het, vanuit het onderwijsbeleid, altijd als een experimenteel project wilde blijven zien.

De ervaringen en uitkomsten van het PLON zijn, evenals die van andere vernieuwingsprojecten⁶⁰, wel meegenomen in de overwegingen van de volgende commissie, de Werkgroep Examenprogramma's Natuurkunde (WEN, 1986). Kort weergegeven noemde deze WEN vier algemene doelen waaraan het natuurkundeonderwijs zou moeten bijdragen: 1) persoonlijke ontwikkeling, 2) inleiding in de natuurwetenschappen en techniek, 3) voorbereiding op vervolgopleiding en beroep, en 4) voorbereiding op bewust burgerschap.

Hierin zijn, in vergelijking met de CMLN, twee duidelijke nieuwe trends waarneembaar. Wat betreft de persoonlijke ontwikkeling wordt nu, naast de al bekende aandacht voor kennis en attitudes, expliciet aandacht ingeruimd voor vaardigheden, te weten: a) basisvaardigheden: schriftelijk en mondeling formuleren en rapporteren, algemene vaardigheden voor onderzoek en het oplossen van problemen; en b) sociale vaardigheden: samenwerken, accepteren van en kunnen inspelen op verschillen tussen mensen, discussiëren en debatteren in een groep, delegeren van taken.

En de tweede trend is de aandacht voor bewust burgerschap (figuur 11), het vierde doel, wat, passend in de kritische geest van die tijd⁶¹, als een geheel nieuwe uitwerking van participatie in de maatschappij kan worden gezien. Bij een bijdrage van het natuurkundeonderwijs aan bewust burgerschap dacht de WEN aan: bewust consumentengedrag (figuur 10), weerbaarheid in een technische omgeving, een kritische instelling ten aanzien van maatschappelijke problemen met fysische en technische aspecten, en aan inzicht in de wisselwerking tussen wetenschap, techniek en samenleving.

De WEN voegde hieraan toe dat het voor de realisering van deze doelen nodig zou zijn om enkele verschuivingen aan te brengen in het natuurkundeonderwijs, die ik hieronder volledig weergeef.

“1. Naar meer ‘omgevings’natuurkunde

De nadruk verschuift van leerstof die vooral het bouwwerk van de theoretische natuurkunde beschrijft naar leerstof waarin formele natuurkundige kennis wordt toegepast in situaties uit het dagelijks leven. Hierdoor helpt men leerlingen zelfstandig en met kennis van zaken te oordelen en te handelen in hun directe omgeving. Het is te verwachten dat door deze verschuiving de formele natuurkundige begrippen

⁶⁰ Deze andere vernieuwingsprojecten waren het DBK-project, het MENT-project en het NAS-project. DBK staat voor ‘differentiatie binnen klasseverband’, een succesvol project dat lesmateriaal ontwikkelde volgens het Basisstof-Herhalingsstof-Extrastof model; MENT staat voor ‘meisjes, natuurkunde en techniek’, een project gericht op het aantrekkelijker maken van het natuurkundeonderwijs voor meisjes; NAS staat voor ‘natuurkunde in de samenleving’, het project was gericht op reflectie op de maatschappelijke rol van natuurkunde als wetenschap.

⁶¹ De manier waarop aan bewust burgerschap kan worden bijgedragen, hangt dus ook sterk samen met de vigerende dominante maatschappijvisie. Zo is het typerend dat de sterke aandacht voor ‘Natuurkunde in de Samenleving’ van de jaren tachtig, nu eigenlijk grotendeels is verdwenen.

- 6 Fles of blik**
Welke drankverpakking kies je uit het oogpunt van een duurzamer energievoorziening: een blikje of een flesje?
- a Weeg een drankflesje en een drankblikje. Bereken de energiekosten van beide soorten verpakking.
- b Welke verpakking zou je vanuit energie-oogpunt kiezen? Welke andere factoren kunnen bij de keuze van een drankverpakking een rol spelen?

Figuur 10. Het bevorderen van bewust consumentengedrag. Een opgave uit 'Interactie', deel 5V (PLON-vereniging, NIB: Zeist, 1991)

Voor het beantwoorden van deze vraag, moeten we ons eerst bezig houden met een andere vraag:

Wat is de energievraag (hoe verbruiken we energie), wat is het energie-aanbod (hoe voorzien we in de energievraag) en wat is – natuurkundig gezien – het energieprobleem?

Daarbij beperken we ons tot het energieverbruik in een woning.

- 4 Verdeling energieverbruik**
In figuur 2 zie je de verdeling van het energieverbruik in Nederland over verschillende maatschappelijke sectoren.
- a Welke maatschappelijke sector heeft het grootste aandeel in het energieverbruik?
- b Hoe groot is het aandeel van het energieverbruik in huishoudens (in %)?
- 5 Brandstofverbruik**
In figuur 4 zie je de verdeling van het energieverbruik in Nederland over de verschillende brandstoffen.
- a Welke brandstof heeft het grootste aandeel in de energievoorziening?
- b Waarom komt elektriciteit niet in het cirkeldiagram voor?
- c Waarom wordt voor woningverwarming vooral aardgas gebruikt?
- 6 Schone elektriciteit**
'Het voordeel van elektriciteit is dat het een schone vorm van energie is. Een gaskachel en een automotor veroorzaken luchtvervuiling, maar een elektrische kachel en een elektrische auto niet.'
Ben je het met deze uitspraak eens? Waarom wel of niet?
- 7 Duurzame energievoorziening**
Aan welke voorwaarden moet een duurzame(r) energievoorziening voldoen?
Welke maatregelen kun je bedenken om dat te bereiken?

Figuur 11. Het bevorderen van bewust burgerschap. Een opgave uit 'Interactie', deel 5V (PLON-vereniging, NIB: Zeist, 1991).

voor de leerling meer betekenis krijgen. Het is ook te verwachten dat hierdoor meer leerlingen, waaronder meisjes, gemotiveerd zullen worden voor de natuurkunde.

2. Naar meer toepassingen van natuurkundige kennis

Het verdient aanbeveling meer toepassingen van de natuurkunde in de techniek en de effecten hiervan

in de samenleving tijdens de les te behandelen. Het verdient ook aanbeveling situaties te kiezen die representatief zijn voor vervolgstudies en beroep. Het natuurkundeonderwijs zal hierdoor niet alleen een bijdrage kunnen leveren aan de vorming van leerlingen tot burgers die de ontwikkelingen in de samenleving kritisch kunnen volgen, maar ook aan de voorbereiding van de leerlingen op de keuze van vervolgopleiding en beroep.

3. Naar natuurkundekennis vanuit concrete situaties naar abstracte beschouwingen.

Fysische wetten en begrippen dienen waar mogelijk geïntroduceerd te worden aan de hand van concrete situaties. Van hieruit zal men dan geleidelijk moeten komen tot meer abstracte beschouwingen.

4. Naar natuurkundige kennis door zelf doen

Leerlingen zullen in het natuurkundeonderwijs steeds meer moeten worden aangemoedigd tot zelfstandig leren, door: experimenteren, discussiëren, verzamelen van informatie, werken met boeken, demonstreren en rapporteren, zelfstandig theoretisch en praktisch onderzoek. Zij kunnen hierdoor kennis verwerven op een persoonlijke wijze, in voorkomende gevallen een werkvorm kiezen die niet alleen het beste bij hen past, maar ook aansluit bij de wijze van werken in beroep en vervolgstudie.

5. Naar meer natuurkundige kennis in context

Natuurkundige regels (wetten, principes, definities, modellen, methoden) dienen bij voorkeur te worden aangeleerd en toegepast in situaties die de leerling kan herkennen. Dit kunnen situaties zijn die de leerling kan plaatsen omdat hij/zij deze reeds eerder is tegengekomen in zijn directe omgeving, of er van gehoord of over gelezen heeft. Deze situaties vormen de context voor de natuurkundige regels. Op deze wijze krijgt de nieuwe kennis een zinvolle betekenis waardoor deze beter beklijft.

6. Naar een meer realistisch beeld van de natuurkunde

In het natuurkundeonderwijs zal meer aandacht besteed moeten worden aan:

- moderne ontwikkelingen in de natuurkunde en moderne toepassingen in techniek en andere wetenschappen;*
- de beperkte mogelijkheden van de natuurkunde bij het oplossen van belangrijke maatschappelijke problemen;*
- de relatie tussen opvattingen in de samenleving en de richting waarin de natuurkunde als wetenschap zich ontwikkelt;*
- het onderscheid tussen model en werkelijkheid en het dynamisch karakter van de natuurkundige kennis;*
- de geschiedenis en de filosofie van de natuurkunde. Hierdoor krijgen veel leerlingen een completer beeld van de natuurkunde als vak en als menselijke activiteit."*

De WEN besteedde ook aandacht aan niet-inhoudelijke aspecten: "De WEN is van mening dat bovenstaande verschuivingen bevorderd kunnen worden door een grote variatie van werkvormen en leerlingactiviteiten tijdens de natuurkundeles. Het leerplan dient ruimte te bieden aan groepswork, practicum, zelfstandig onderzoek, onderrichtsgesprekken, groepsdiscussie, frontale uitleg, gebruik van audiovisuele apparatuur, het gebruik van de computer, demonstratie door de leraar of door de leerling, tentoonstelling, etc. Tevens dient het leerplan ruimte te bieden aan differentiatie naar niveau, belangstelling en werktempo."

Het lijkt me dat we in de WEN-formuleringen veel terugzien van de PLON-visie en ook van de van hogerhand nagestreefde doelverbreding. We zien daarom ook expliciete aanbevelingen voor een grotere variatie aan activerende werkvormen en een eerste nadruk op vaardigheden. Er is de uit het PLON resulterende aandacht voor contexten, ook al ging de WEN in zijn examenprogramma niet verder dan het, naar mijn idee, wat duistere idee van 'contextbegrippen'. Daarnaast wordt voor het eerst expliciet aan-

dacht gevraagd voor de noodzaak om meer meisjes voor natuurkunde te laten kiezen (in navolging van het MENT-project). Ten slotte voerde de WEN de 'zelfstandige opdracht' in, een eerste poging om recht te doen aan zelfstandig onderzoek van leerlingen, als culminatie van de door practicum opgedane onderzoekservaring. De vraag of dit alles ook gewerkt heeft als gewenst, dringt zich dan natuurlijk al snel op.

In dat opzicht is het uit 1993 stammende onderzoek van Kuiper⁶² redelijk ontuchtend, ook al richtte zich dit vooral op de onderbouw: *“De mate waarin leerlingen een actieve inbreng hebben tijdens de natuurkunde-, scheikunde- en biologielessen is in het voorgaande afgemeten aan de mate waarin leerlingen in de gelegenheid zijn aan practicum te doen alsook aan het gebruik door docenten van participatiegerichte (in groepjes of individueel opdrachten uitvoeren, excursies en dergelijke) en niet participatiegerichte (klassikale instructie, klassikaal gebruik van de vraag- en antwoord methode, demonstreren van proeven) instructievormen. Practicum, zo kunnen we concluderen, speelt bij natuurkunde, en zeker in het lto, een niet erg vooraanstaande rol. (...) Klassikale instructie en klassikaal gebruik van de vraag- en antwoord methode zijn bij alle drie de vakken de meest veelvuldig gehanteerde (niet-participatiegerichte) instructievormen. (...) Dit alles in ogenschouw nemende dringt zich de conclusie op dat er sprake is van een behoorlijke kloof tussen het ideaalbeeld van de natuurwetenschappelijke vakken in de basisvorming en de feitelijke lespraktijk anno 1989.”*

En Vermeulen et al.⁶³ concludeerden in hun onderzoek, onder andere gebaseerd op interviews met een aantal deskundigen, als volgt: *“In het natuurkundeonderwijs heeft het aspect van leefwereldgerichtheid vooral vorm gekregen in het PLON-project, en aandacht voor individuele verschillen vooral in het DBK-project. Ideeën die in het kader van deze (en enkele andere) projecten werden ontwikkeld, zijn inmiddels in afgezwakte vorm geformaliseerd in het eindexamen, waarin gewerkt wordt met ‘contextbegrippen’ en in de kerndoelen van de basisvorming. Toch wordt het onderwijs op operationeel niveau door de respondenten nog traditioneel genoemd. Veel methoden zijn nog vakstructuurgericht (in plaats van leefwereldgericht), en het zelfstandig onderzoek, als participatiegerichte werkvorm, is nog niet overal van de grond gekomen. Wat betreft het ‘geleerde curriculum’ bleken de vernieuwingen niet altijd het beoogde cognitieve effect te bewerkstelligen.”*

Opgemerkt kan worden dat het beeld van deze onderzoeken misschien enigszins vertekend is, omdat de tijd die verlopen was na de invoering van de WEN nog te kort was geweest om de onderwijspraktijk zich daarop volledig te laten instellen. In ieder geval gaf het WEN-programma uiteraard aanleiding voor weer een nieuwe generatie leerboeken. Een generatie die ditmaal wel een heel breed spectrum van verschillende uitwerkingen betrof, variërend van de relatief traditionele methode 'Systematische Natuurkunde' (Middelink et al.), tot de door de PLON-Vereniging⁶⁴ uitgegeven bovenbouw-methode 'Interactie'.

Maar de vernieuwers en plannenmakers gingen gewoon verder. Eerst kwam de basisvorming met als belangrijkste inhoudelijke ingreep de samenvoeging van de vakken natuur- en scheikunde. Was het de bedoeling om hiervan werkelijk één geïntegreerd vak te maken, of was het ook goed als men, zoals in de praktijk vaak het geval bleek,

⁶² W.A.J.M. Kuiper (1993). *Curriculumvernieuwing en lespraktijk*. Twente: OCTO.

⁶³ A. Vermeulen, M. Volman & J. Terwel (1995). *Onderwijsvernieuwingen in wiskunde, natuurkunde, scheikunde en biologie*. Amsterdam: SCO/ILO.

⁶⁴ Deze PLON-Vereniging was, in navolging van de DBK-Vereniging, opgericht om de producten en idealen van het PLON-project, na afloop van de experimenteerperiode, breed te implementeren.

alles zoveel mogelijk bij het oude liet? Daarnaast was er, volgens de schrijvers van het op de (na)scholing van docenten gerichte boek ‘Natuur- en scheikunde in de basisvorming’, sprake van wat zij ‘de moderne vakdidactiek’ noemden (zie figuur 12). Daarin herkennen we overigens ook veel zaken uit het WEN-rapport, wat uiteraard aangeeft dat de meeste van deze vakdidactische vernieuwingen niet beperkt hoefden te zijn tot de basisvorming, maar net zo goed van toepassing konden zijn op het bovenbouwonderwijs. Wat dat laatste betreft werd de WEN al spoedig opgevolgd door de Vakontwikkelgroep Biologie-Natuurkunde-Scheikunde (BINASK) die de examenprogramma’s voor de vernieuwde Tweede Fase moest vaststellen. In zijn voorwoord schreef deze commissie: “Daarnaast is het voor de eerste keer in de historie dat examenprogramma’s voor de natuurwetenschappen gezamenlijk ontwikkeld zijn, in onderling overleg. Het heeft ertoe geleid dat op belangrijke punten vakoverstijgende afspraken zijn gemaakt, waardoor de samenhang tussen de natuurwetenschappelijke vakken ook in de examenprogramma’s zichtbaar is geworden. In het bijzonder kunnen worden genoemd het gemeenschappelijk gebruik van contextgebieden en vaardigheden.”⁶⁵

Een collage van gezichtspunten die veranderd zijn door de didactische vernieuwing in de basisvorming. Het is een lijst van wenselijkheden (...)

- de leerlingen doen practicum gedurende circa 1/3 deel van de lestijd
- ze leren de eigen mening weer te geven en te beargumenteren
- de computer wordt in de les gebruikt
- er is aandacht voor beroepen in de samenleving
- de leerstof wordt in zinvolle contexten aangeleerd en getoetst
- de toetsing betreft ook vaardigheden
- de toetsing gaat minder over het reproduceren van feitenkennis
- de natuur- en scheikunde kennis is minder wetenschapsgericht
- de scheikunde is meer ambachtelijk, gericht op iets maken
- er is veel aandacht voor Toepassingen, Vaardigheden en Samenhang
- er is minder aandacht voor formules en rekenwerk
- milieu-educatie heeft een plaats in het leerplan
- leerlingen doen onderzoek
- ze oefenen in rapporteren en discussiëren

Figuur 12. Fragment uit ‘Natuur- en Scheikunde in de Basisvorming’ (SLO, APS, LO’S. Thieme, 1995).

In de door BINASK geformuleerde algemene doelstellingen komen we dan ook niet meer de term ‘natuurkunde’ tegen, maar alleen ‘natuurwetenschappen’, met benadrukking van hun samenhang. Naast de vertrouwde zaken als ‘kennis van en inzicht in natuurwetenschappelijke verschijnselen’, komen we in deze doelstellingen een aantal

⁶⁵ *Advies Examenprogramma’s HAVO en VWO: Biologie, Natuurkunde, Scheikunde*. Stuurgroep Profiel Tweede fase, Den Haag, 1995. Het geheel nieuwe vak ‘Algemene Natuurwetenschappen’ komt later nog aan de orde.

nieuwe accenten tegen: *“Leerlingen verwerven kennis van en inzicht in de beginselen van de methoden waarmee binnen de natuurwetenschappen kennis verzameld kan worden en kunnen hun kennis en vaardigheden in deze vakken gebruiken om nieuwe kennis op te doen en/of nieuwe vaardigheden te ontwikkelen.”*

Deze formulering gaat, mijns inziens, wel heel ver in de verwachting dat leerlingen in staat zullen zijn om zelf nieuwe vakinhoudelijke kennis, c.q. vaardigheden, te verwerven. Een optimisme dat naar ik aanneem mede ten grondslag lag aan de invoering van het zogenoemde ‘profielwerkstuk’. Toentertijd was, denk ik, nog niet te voorzien dat, althans volgens sommige critici, één van deze nieuwe vaardigheden inmiddels bekend staat als ‘copy and paste’, waardoor dit doel veel van zijn aantrekkelijkheid lijkt te hebben verloren.

Onder de noemer ‘persoonlijke en maatschappelijke vorming’ worden onder andere de volgende doelen genoemd: *“Leerlingen leren natuurwetenschappelijke en technische aspecten herkennen in een maatschappelijke situatie en leren hierin positieve en negatieve elementen onderscheiden. Mede daardoor leren zij een gemotiveerd standpunt in te nemen en beslissingen te nemen over het eigen gedrag. Leerlingen verwerven communicatieve vaardigheden, zoals het mondeling en schriftelijk weergeven van waarnemingen, van resultaten van experimenten en eigen standpunten. Leerlingen verwerven sociale vaardigheden, zoals samenwerken, rekening houden met elkaar en het zich kunnen verplaatsen in de standpunten van anderen.”*

Meer dan in voorgaande rapporten komt hierin de nadruk op eigen standpuntbepaling naar voren, inclusief vertaling in consequenties voor het eigen gedrag. Zoals al eerder gezegd lijkt me dit, in ieder geval voor het natuurkundeonderwijs, grenzen aan een overschatting van haar mogelijkheden. ‘Scientific Literacy’ (zie verder) lijkt zeker een nastrevenswaardig doel, maar, zoals we nog zullen zien, zowel de inhoud als het realiteitsgehalte daarvan zijn vooralsnog onduidelijk. Ten slotte lezen we nog een nieuw doel, te weten: *“Leerlingen verwerven leerstrategieën die voor de start van een studie in het hoger onderwijs van belang zijn.”*

Hierin herkennen we het belang van zelfstandig leren leren. Deze verbetering van de aansluiting met het vervolgonderwijs was een van de kernpunten van de hele Tweede Fase. Universiteiten en HBO-instellingen waren aangeschreven om hun wensen te inventariseren ten aanzien van het voortgezet onderwijs. Kort gezegd kwam de grote klacht steeds op het volgende neer: *“Ze hebben het wel gehad, maar ze kunnen er niks mee”*, wat, mijns inziens ten onrechte, door de Stuurgroep is vertaald in: minder kennis, meer vaardigheden. In navolging daarvan zei BINASK: *“Zeker zo belangrijk is de aandacht voor (algemene) vaardigheden: taal-, studie-, reken-, onderzoeks-, probleemoplossingsvaardigheden, enz. Voor het hoger onderwijs is het noodzakelijk dat leerlingen anders (“vaardiger”) met kennis om kunnen gaan.”*

BINASK koos ook voor het belang van contexten, met de volgende argumentatie: *“De eindtermen dienen in realistische situaties (realistische contexten) aangeleerd, toegepast en getoetst te worden. Ten opzichte van de basisvorming waar dikwijls uitgegaan wordt van ervarings- en omgevingscontexten wordt het onderwijs in de tweede fase geplaatst in bredere maatschappelijke en wetenschappelijke contexten. Er is nagestreefd contexten niet als ‘willekeurige’ toepassingen te hanteren, maar contexten uit samenhangende toepassingsgebieden te kiezen (contextgebieden). Diepgaand heeft de vakontwikkelgroep gesproken over contexten en over gemeenschappelijke contextgebieden voor de natuurwetenschappelijke vakken. Het heeft geleid tot de volgende vakoverstijgende contextgebieden:*

techniek, natuur en milieu, gezondheid. In de examenprogramma's zijn de contexten/contextgebieden vermeld."

In vergelijking met de WEN is het vastleggen van contextgebieden in de examenprogramma's een revolutionaire sprong voorwaarts. Deze sprong heeft toen relatief weinig weerstand opgeroepen, hetgeen begrijpelijk wordt als we preciezer kijken naar deze gekozen contextgebieden. Deze zijn namelijk zo algemeen geformuleerd, dat het moeilijk wordt om natuurwetenschappelijke situaties te bedenken die niet onder een gekozen contextgebied zijn te rangschikken. En daarmee verliest het idee van contextgebieden veel van zijn zin. Uit de keuze van contextgebieden volgt overigens wel dat BINASK het toegenomen belang erkende van aandacht voor techniek. Nog niet zodanig dat ook gekozen werd voor een apart vak, zoals door velen werd voorgestaan⁶⁶, maar "door de keuze van techniek als contextgebied verwerft techniek een plaats door de programma's heen." Daarnaast kreeg techniek expliciete aandacht in de vorm van ontwerpvaardigheden, waarvan overigens gezegd werd dat het nodig was daar meer ervaring mee op te doen, omdat de bestaande expertise in het onderwijs daarmee nog onvoldoende was. Ten slotte werd ook het belang van het gebruik van informatietechnologie vorm gegeven in vaardigheden voor informatieverwerking en computergebruik; werd de verwachting uitgesproken dat de keuze van profielen en de nadruk op natuurwetenschappelijke samenhang gunstig zou zijn om de scheiding tussen 'jongens- en meisjesachtig' te verkleinen; en werd door het opnemen van taalvaardigheid in het programma gezocht naar een bijdrage aan het wegnemen van de achterstand van allochtone leerlingen op dit punt.

De uitwerking van al deze schone zaken in de schoolpraktijk van alledag is niet zonder horten en stoten tot stand gekomen. In feite moesten auteurs van lesmethoden en docenten daarin hun eigen weg vinden. Op vakniveau is dit veelal gebeurd door het ontwikkelen van studiewijzers, die leerlingen de weg moesten wijzen in hoe zelfstandig te plannen en te studeren. Daarnaast zijn bijna alle leerboekauteurs overgegaan tot het splitsen van hun methodes in informatieboeken en verwerkingsboeken. In het informatieboek staat dan de leerstof zoals die uiteindelijk gekend moet worden. In het verwerkingsboek (of leerlinghandleiding) worden practica, oefenopgaven en zelftoetsen beschreven, alsmede instructies hoe deze aan te pakken en te gebruiken. En op die manier wordt concreet aandacht besteed aan het leren van vaardigheden als: onderzoeken, ontwerpen, probleemoplossen, informatie verwerken, plannen en leren (zie figuur 13 en 14). Kortom, aan al die vaardigheden waar het studiehuis voor bedoeld was en die volgens de Commissie Dijsselbloem niet hadden mogen worden ingevoerd, althans niet op de geforceerde wijze zoals is gebeurd. Een opvatting die, mijns inziens, nu het kind met het badwater weggooit. Tegelijkertijd was echter al wel duidelijk geworden dat ook de vernieuwingen van de Tweede Fase, de continue problematiek van het natuurkundeonderwijs, of sterker geformuleerd, de continue crisis in het natuurkundeonderwijs, niet zou oplossen. Nog steeds is er een tekort aan leerlingen die daarvoor kiezen en het ook met voldoende resultaat afronden. Dat laatste ook gezien het gevoel dat ze, ondanks het feit dat 'ze het wel gehad hebben', er nog steeds 'te

⁶⁶ Zie echter: P.L. Lijnse (1995). Techniek in de bovenbouw: een vak apart? *NVOX*, 20, 10-15.

Intermezzo Het 7-Stappen-Plan

Je hebt niet altijd zomaar een oplossing voor een opgave gevonden. Soms weet je echt niet meer, hoe je verder moet. Is er dan niet een methode te bedenken, die *altijd* tot een oplossing leidt? Nee dus, helaas niet...
 Je kunt echter wél beginnen met het nemen van een aantal stappen. Je mag nooit de moed opgeven voordat je de eerste 5 van de onderstaande 7 stappen hebt gezet.

Beeldvorming	Toelichting
STAP 1 Neem de opgave in zijn geheel door.	<i>is er verband tussen de delen?</i>
STAP 2 Maak een schets van de situatie, geef daarin alle grootheden aan die in de opgave voorkomen en noteer alle gegevens bij je schets, mét de juiste symbolen en eenheden.	<i>bijvoorbeeld: m, x(t), v(t), a(t), \vec{F}_z, \vec{F}_w, \vec{F}_{res}, geef + en - richting aan!</i>
Analyse	
STAP 3 Noteer formules en andere verbanden, die een rol kunnen spelen.	<i>Binas, het verband tussen \vec{F}_{res} en de andere krachten.</i>
STAP 4 Vul de formules zover mogelijk in, kijk welke grootheden je al direct kunt uitrekenen.	<i>alleen nog maar eenvoudige berekeningen.</i>
STAP 5 Noteer in je eigen woorden én met de juiste symbolen, wat er precies gevraagd wordt.	<i>waar gaat het eigenlijk om? hier begint je oplossing!</i>
Oplissing	
STAP 6 Maak een plan, dat naar een oplossing leidt; vaak vanuit het gevraagde naar de gegevens toe. Ga daarna pas rekenen. Lukt het niet, herhaal dan eerdere stappen.	<i>kijk of je een betrekking kunt maken, waarin het gevraagde voorkomt: 'gevraagde' = soms kun je vergelijkingen zo combineren dat een onbekende wegvalt.</i>
STAP 7 Bekijk of de grootte-orde van je antwoord goed is. Controleer de eenheid en het aantal significante cijfers.	<i>is je antwoord eigenlijk wel geloofwaardig?</i>

Figuur 13. Een voorbeeld van aandacht voor leren probleemoplossen. Uit: J.W. Drijver, Systematische Natuurkunde, leerlingenhandleiding N1. Baarn: Nijgh/Versluys, 1998.

In het kort:

- 1 Bepaal wat je precies moet leren en waarom. Maak onderscheid in hoofd- en bijzaken.**
- 2 Inventariseer welke voorkennis je nodig hebt.**
- 3 Houd rekening met de zwakke plekken in je leerstijl; onderzoek hoe anderen leren.**
- 4 Koppel nieuwe kennis aan oude kennis en schematiseer zoveel mogelijk wat je leert om samenhang te ontdekken.**

Figuur 14. Een zeer beknopt voorbeeld van aandacht voor 'leren leren'. Uit: K. Kortland et al., Newton VWO Verwerkingsboek 1a. Zutphen: Thieme, 1998.

weinig mee kunnen'. En dat ondanks alle aandacht voor vaardigheden die vooral op dat laatste gericht was. Dat is op zich niet verrassend, zoals ik al eerder betoogd heb⁶⁷. Aandacht voor vaardigheden is zeker belangrijk, maar het mag niet ten koste gaan van aandacht voor kennis. Beide zijn belangrijk en beide vragen voldoende tijd en een goede didactische uitwerking, zodat ze elkaar kunnen versterken.

En daarmee zijn we terug bij waar we de rondgang begonnen: het visiedocument van NINA, anno 2006. Uit het geschetste historisch perspectief zal inmiddels duidelijk zijn dat de door NINA voorgestane vernieuwing niet zozeer in de geformuleerde doelstellingen gezocht moet worden. Maar waarin dan wel? Laten we daartoe zien wat NINA als uitgangspunt voor haar vernieuwing omschrijft. *“In het natuurwetenschappelijk onderzoek en de technische toepassing daarvan heeft de laatste decennia een zeer wezenlijke verandering plaatsgevonden. Nieuwe ontwikkelingen en toepassingen vinden we steeds meer op grensgebieden tussen de monodisciplines. Deels wordt dit gestuurd door vraagstellingen die vanuit de samenleving worden gedefinieerd, maar ook in het fundamentele onderzoek worden grenzen tussen vakgebieden overschreden. Zo heeft de deeltjesfysica aan de theoretische kant een grote affiniteit met wiskunde, en berust zij aan de experimentele kant op zeer geavanceerde technologie. In de vastestoffysica is het onderscheid met scheikunde vaak moeilijk aan te geven, en in de biowetenschappen spelen natuurkundige technieken en modellen een steeds grotere rol. Deze veranderingen weerspiegelen zich in de functies die natuurwetenschappers en technici vervullen in de maatschappij.”*

Hier wordt het uitgangspunt voor de inhoudelijke vernieuwing dus niet gevonden in de maatschappelijke ontwikkelingen, zoals we eerder gezien hebben bij de vormgeving van nieuwe schoolstructuren, eventueel in samenhang met ontwikkelingen in onderwijskundige en pedagogische inzichten zoals bij de basisvorming en het studiehuis, maar in inhoudelijke ontwikkelingen in natuurwetenschap en technologie zelf. Dat roept speciale vragen op, want hoe kan deze voortgang aan het front van de wetenschap zijn weg vinden naar het voortgezet onderwijs? Levert dat gezien de zelfs afgenomen beschikbare onderwijstijd en de mate van abstractie, omvang, structuur en complexiteit van hedendaagse natuurwetenschappelijke en technologische kennis geen onoverkomelijke problemen op? Zeker indachtig de door de CMLN gegeven waarschuwing met betrekking tot inhoudelijke ‘updating’? NINA lijkt wat dit betreft bepaald minder pessimistisch. *“In het nieuwe programma zullen leerlingen het verband leren zien tussen de grote ontdekkingen in de natuur- en sterrenkunde en belangrijke innovaties in de maatschappij. Ze maken kennis met de natuurwetenschappelijke denkwijze als menselijke activiteit, de bijdragen daarvan aan onze cultuur. De centrale principes, zoals behoudswetten, maken de natuur ten dele voorspelbaar en manipuleerbaar en leerlingen ontdekken hoe deze ideeën een rol spelen in technologie. De belangrijkste inzichten in de natuurkunde (concepten) worden in contexten geplaatst, dat wil zeggen behandeld in voor leerlingen herkenbare situaties, die motivatie voor het leren tot gevolg hebben.”*

En hierin herkennen we hetzelfde optimisme als naar voren komt uit de doelstellingen van al die eerdere vernieuwingspogingen en -projecten. Een optimisme dat uiteraard inherent dient te zijn aan elke vernieuwingspoging, want anders zou je er niet aan beginnen. Maar waarom zou dat deze keer wel terecht zijn, als alle eerdere pogingen niet aan de verwachtingen hebben voldaan? Om dit optimisme te rechtvaardigen is er inhoudelijk eigenlijk alleen de introductie van de zogenoemde concept-context-

⁶⁷ P.L. Lijnse (1997). Vakdidactiek: het vergeten fundament van het studiehuis. *TD-β*, 14, 72-91.

benadering, en het lijkt me zeer de vraag of deze daarvoor voldoende zal blijken te zijn.

2.9 Afsluiting

Tot zover een uiteraard beknopte historische beschrijving van de belangrijkste ontwikkelingen in de formulering van doelstellingen voor ons natuurkundeonderwijs, zoals verwoord door de belangrijkste vernieuwingscommissies, en geïllustreerd met enige voorbeelden van hun uitwerking. We kunnen, met enige goede wil, hierin een aantal trends ontdekken.

We zien dan dat de visie op natuurkunde als wetenschappelijke discipline in zijn kern eigenlijk al die jaren onveranderd is gebleven. En die kern is dat natuurkunde zodanig belangrijk is als cultureel en maatschappelijk verschijnsel, dat iedereen daarmee op aangepast niveau dient kennis te maken. Geleidelijk aan krijgt deze kennismaking, naast een voorbereiding op natuurkunde als wetenschap, echter ook een functie voor het bereiken van andere doelen, zoals adequater kunnen handelen in de dagelijkse leefwereld en kritisch inzicht in belangrijke maatschappelijk-technologische ontwikkelingen. Het natuurkundig handelen, wordt ook steeds meer geacht een bijdrage te kunnen leveren aan de vorming van belangrijke persoonlijke waarden.

En daarmee dient het natuurkundeonderwijs, qua inhoud en vormgeving, ook steeds meer haar deel bij te dragen aan de verwezenlijking van de taakverbreding van de school als zodanig. Inhoudelijk is er een voortdurende vraag om 'updating', ten aanzien van meer moderne natuurkunde; het voortdurende probleem van overladenheid van programma's, waarvoor de voorgestelde focussing op de fundamentele structuur van de discipline geen oplossing kan bieden; een toenemende aandacht voor inbedding in contexten, zonder dat dit op programmaniveau overigens echt wordt uitgewerkt; een toenemende aandacht voor het proces van de natuurkunde, onder andere blijkend uit de rol van practicum en eigen onderzoek van leerlingen; een toenemende aandacht voor (algemene) vaardigheden; een toenemende nadruk op leerlinggerichtheid, onder andere blijkend uit aandacht voor 'meisjes en natuurkunde', voor motivatie van leerlingen in het algemeen en voor de rol van techniek daarin; en ten slotte meer aandacht voor een grotere variatie in activerende werkvormen.

Blijkbaar had en heeft het natuurkundeonderwijs te worstelen met een continue stroom van innovaties, die vanuit een scala van veelal maatschappelijke argumenten bepleit zijn geworden. Dat verklaart tevens waarom de resultaten vaak teleurstellen. Als we er van uitgaan dat het toch snel meer dan een decennium duurt voordat een grootschalige innovatie voldoende is geaccepteerd door en geïmplementeerd op de werkvloer, dan hebben de meeste innovaties die tijd gewoon niet gekregen.

Een andere conclusie zou kunnen zijn dat, voor zover het doelen en inhouden betreft, dezelfde thema's met cyclische regelmaat aan de orde lijken te worden gesteld, als in een soort golfbeweging, gedreven door voortdurend veranderende visies over onderwijs in een veranderende maatschappij. Zouden we, desalniettemin, voorzichtig mogen concluderen dat het natuurkundeonderwijs als het ware naar boven spiraliseert, op een manier die we in zeker opzicht ook vooruitgang zouden mogen noemen (zoals

Bruner verwachtte)? Of blijkt uit deze vraag naar ‘vooruitgang’ alleen maar dat ik niet goed weet waar het eigenlijk om gaat in het onderwijs. De wiskundendidacticus Freudenthal⁶⁸ schreef hierover het volgende: *“Once, asked by an interviewer whether I thought that attempts at innovating have improved education, I hesitated for a short while, only to eventually stamp it as a wrong question. Pictures of education, taken at different moments in history are incomparable. Each society at a given period got the education it wanted, it needed, it could afford, it deserved and it was able to provide. Innovation cannot effect any more than adapting education to a changing society, or at the best can try to anticipate on the change. This alone is difficult enough.”*

Daarvoor is het in ieder geval belangrijk om te kijken hoe deze innovaties de onderwijspraktijk hebben beïnvloed. Helaas kunnen we daarover, zoals al aangestipt, niet al te optimistisch zijn. Zo was een hoofdkenmerk van de eerste golf van curriculumvernieuwing dat het ging om ontwikkelingen vanuit centrale instituten, hoofdzakelijk universiteiten. Centrale projectteams van specialisten ontwikkelden prachtige materialen, die in een beperkt aantal scholen waren uitgetoetst, en die vervolgens top-down op grote schaal moesten worden geïmplementeerd. Waarschijnlijk juist vanwege hun innovatieve karakter en hoge kwaliteit, verliep deze innovatie gewoonlijk bepaald niet zoals verwacht. Heel vaak kwam adoptie van curricula niet noodzakelijkerwijs ook neer op adoptie van hun rationale of van hun aanbevolen onderwijsmethoden, maar gaven de docenten daaraan hun eigen interpretatie, vaak sterk afwijkend van wat de bedoeling was geweest. In plaats van de vraag hoe ‘teacher-proof’ curricula te implementeren, bleek het probleem veeleer hoe om te gaan met ‘innovation-proof’ docenten. Fensham merkt op dat in de jaren zeventig *“evidence accumulated that many or most of the hopes and good intentions of the reformers were not being achieved in schools.”* En volgens Matthews⁴⁵: *“Now, in the 1990s, when school science reform is once more on the agenda, it is timely to know how much of this failure and confusion was due to the curriculum materials, how much to teacher inadequacies, how much to implementation and logistic failures, how much to general anti-intellectual or antiscientific cultural factors and how much to a residue factor of faulty learning theory and inadequate views of the scientific method that the schemes incorporated.”*

Dit is niet de plaats om al deze factoren uitgebreid te bediscussieren⁶⁹. De belangrijke kern die ik hier wel wil benadrukken is dat blijkbaar een gecentraliseerde wijze van curriculumontwikkeling met projectteams van experts, alhoewel volledig begrijpelijk in die tijd, geneigd is om de fijngevoeligheden en complexiteit van curriculumimplementatie zeer te onderschatten, en in het bijzonder de rol van de docenten daarin. Tegenwoordig heet dit dat er veel te weinig aandacht is geweest voor het creëren van ‘ownership’ bij docenten. Zoals French⁴⁷ opmerkte: *“the crucial ingredient for the success of any educational innovation is the classroom teacher.”* Een waarheid als een koe, die derhalve ook heden ten dage nog niets van zijn geldigheid heeft verloren. En die waarschijnlijk NINA er, terecht, toe heeft gebracht om zoveel mogelijk docenten te betrekken in de uitwerking van hun plannen.

In een recent rapport over “Science Education in Europe”⁷⁰, dat een verslag inhoudt

⁶⁸ H.F. Freudenthal (1991). *Revisiting Mathematics Education (China Lectures)*. Dordrecht: Kluwer.

⁶⁹ P.J. Fensham (1992). Science and Technology. In: P.W. Jackson (Ed.), *Handbook of Research on Curriculum* (pp. 789-829). New York: Macmillan.

⁷⁰ J. Osborne & J. Dillon (2008). *Science Education in Europe: Critical Reflections*. Loon: Nuffield Foundation.

van twee internationale seminars die aan dit onderwerp waren gewijd en dat gezien de deelnemerslijst ook de situatie in ons land zou moeten beschrijven, wordt het volgende geconcludeerd: *“However, whilst there is agreement that an education in science is important for all school students, there has been little debate about its nature and structure. Rather curricula have simply evolved from pre-existing forms. Predominantly these curricula have been determined by scientists who perceive school science as a basic preparation for a science degree – in short a route into science. Such curricula focus on foundational knowledge of the three sciences – biology, chemistry and physics. However, our contention is that such an education does not meet the needs of the majority of students who require a broad overview of the major ideas that science offers, how it produces reliable knowledge and the limits to certainty. Second, both the content and pedagogy with such curricula are increasingly failing to engage young people with the further study of science.”*

In het licht van alle gedachten die ik hierboven heb beschreven, vind ik dit citaat eigenlijk onbegrijpelijk. ‘Physics for all’ was de leidraad in bijna alle curriculumprojecten die ik heb genoemd. De interpretatie daarvan was wel steeds verschillend, en de implementatie van de opzet voldeed zelden aan de verwachtingen, maar het beoogde doel was duidelijk: om zoveel mogelijk leerlingen een natuurkundige ‘basis’ te geven voor het leven. Eén van de auteurs van dit laatste rapport schreef eerder⁷¹: *“Any science education, therefore which focuses predominantly on the intellectual products of our scientific labour – the facts of science – simply misses the point. Science education should rest, therefore, on a triumvirate of a knowledge and understanding of: a) the scientific content; b) the scientific approach to enquiry; c) science as a social enterprise – that is the social practise of the community.”*

Dit maakt dus wat duidelijker wat voor vernieuwing er dan nu aan de orde zou moeten zijn. Opnieuw lijkt het me dat dit in feite ruwweg dezelfde argumentatie is als die ten grondslag heeft gelegen aan de eerder beschreven curriculumgolven. En het door Osborne genoemde ‘triumvirate’ is dan ook precies gelijk aan de eerder nagestreefde oplossingen. Als we hem kunnen geloven hebben die dus kennelijk niet geleid tot enig waarneembaar resultaat. Een constatering die niet alleen een teleurstelling inhoudt ten aanzien van alle zeer goed bedoelde vernieuwingen uit het verleden, maar evenzeer een waarschuwing voor alle minstens zo goed bedoelde vernieuwingen van de toekomst. De menselijke geest is tenslotte beperkt in het kunnen bedenken van steeds nieuwe mogelijkheden. Is de kern van vernieuwing niet veelal daarin gelegen dat het in ieder geval anders moet worden dan het is, waarbij het van minder belang is of dat andere op een of andere duidelijke, empirisch aantoonbare, manier valt aan te merken als beter? De retoriek van de dynamiek, als een in zichzelf functionerend mechanisme, dat niet gebaat is bij een groot historisch besef! Of zie ik dit toch te somber?

⁷¹ R. Millar & J.F. Osborne (1998). *Beyond 2000: Science Education for the Future*. London: King’s College.

3 De discussies van vandaag: over ‘Scientific Literacy’ en ANW

3.0 Doel

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op het begrip ‘scientific literacy’ en op de manier waarop dit vooral vorm heeft gekregen in het vak Algemene Natuurwetenschappen. Daartoe zal gedetailleerd worden ingegaan op de inhoud van dat vak. Had dit beter gekund? Doel is steeds deze ontwikkelingen te plaatsen en te bespreken vanuit een groter kader van doorlopende onderwijsvernieuwing en didactische kennisontwikkeling.

3.1 Welke discussies?

“Our view is that a science education for all can only be justified if it offers something of universal value for all rather than the minority who will become future scientists. For these reasons, the goal of science education must be, first and foremost, to offer an education that develops students’ understanding both of the canon of scientific knowledge and of how science functions. In short that school science offers an education in science and not a form of pre-professional training. Most school science curricula do attempt to serve two goals – that of preparing a minority of students to be the next generation of scientists – and that of educating the majority in and about science, most of whom will follow non-scientific careers. (...) Asking the school science curriculum and teachers of science to achieve both of these goals simultaneously places school science in tension where neither goal is served successfully.”

Aldus opnieuw de schrijvers van het rapport ‘Science Education in Europe’⁷⁰. Het belangrijke punt hierin, lijkt me, is niet dat het om ‘science for all’ zou moeten gaan, want dat hebben we, zoals beschreven, al vele malen eerder gezien, maar dat ze terecht wijzen op de spanning die ontstaat als éénzelfde curriculum twee heel verschillende doelen tegelijk moet dienen. En dat is ook in onze schoolpraktijk, in ieder geval voor het VWO, meestal het geval. Enerzijds een brede opleiding voor velen, gericht op ‘scientific literacy’, zoals dat tegenwoordig genoemd wordt, en anderzijds een conceptueel dieper gravende behandeling, die oriënterend en voorbereidend wil zijn voor een natuurwetenschappelijke opleiding voor diegenen die daarvoor kiezen. Een groot verschil in doel, dat dus, zoals terecht wordt benadrukt, ook vraagt om een groot verschil in didactische aanpak. Hetzelfde rapport zegt ook: *“Traditional curricula in school science suffer from a number of difficulties. Knowledge is usually presented in fragmented concepts where the overarching coherence is not even glimpsed let alone grasped – an experience which has been described as akin to being on a train with blacked-out windows – you know you are going somewhere but only the train driver knows where. In addition, there is a growing gulf between the focus of school science – commonly the achievements of the 19th and early 20th centuries – and the science that is reported in the media, such as astrophysics, neuroscience and molecular genetics. (...) School science has done little to consider how it might appeal to the values and ideals of contemporary youth and their culture. Hence, our view is that what school science requires is a new vision of why an education*

in science matters that is widely shared by teachers, schools and society. In particular, it needs to offer a better idea of what kinds of careers science affords – both in science and from science – and why these careers are valuable, worthwhile and rewarding.”

Hier komen we weer enkele vertrouwde curriculumproblemen tegen, die voortdurend om aandacht vragen. Maar helaas met voornamelijk dezelfde gepropageerde oplossingen als altijd, namelijk inhoudelijke updating en aanpassing aan ideeën en wensen van de huidige jeugd en de maatschappij van vandaag. Dus wat dat betreft lijkt er op dit niveau weinig nieuws onder de zon. Millar & Osborne⁷¹ beschreven eerder in iets meer detail hoe die gewenste ‘new vision’ er dan wel uit zou moeten zien:

- *“Science education should be for the majority and should be for scientific literacy.*
- *An element of choice should be allowed at age 14.*
- *The curriculum needs aims to ensure that its primary purpose is well understood and shared by all.*
- *Scientific knowledge can best be presented as a set of explanatory stories that would provide a holistic overview of the great ideas of science.*
- *Technology can no longer be separated from science as the former is what interests pupils.*
- *The science curriculum must give more emphasis to key ideas-about-science.*
- *Science should be taught using a wide variety of teaching methods and approaches.*
- *Assessment needs to measure pupils’ ability to understand and interpret scientific information.*
- *Change in the short term should be limited as radical change is undermined by teachers.*
- *A formal procedure needs to be established for the testing and trialling of innovative approaches.”*

Hierin worden, naar mijn indruk, naast een aantal bekende zaken, toch wat accenten gelegd, die op dit moment in ons land nog geen gemeengoed zijn. Bijvoorbeeld ten aanzien van het presenteren van ‘explanatory stories’, de rol van ‘technology’ en de nadruk op ‘key-ideas-about-science’. Het is interessant om nader te bezien of en hoe deze ideeën al zijn uitgewerkt.

1 ANW en SL – Eerst is er de vraag wat nu precies onder ‘scientific literacy’ kan worden verstaan en hoe dat in een curriculum kan worden nagestreefd. In ons land hebben we in feite meerdere mogelijkheden om met de boven geformuleerde spanning tussen monodisciplinaire diepgang en multidisciplinaire breedte om te gaan. Enerzijds is (of moet ik zeggen was?) er het vak ‘Algemene Natuurwetenschappen’ en anderzijds de respectievelijke mono-vakken (voor natuurkunde in de toekomst dus het NINA-curriculum).

2 NINA en de CCB – Voor de uitwerking van haar voorstellen tot een concreet curriculum heeft NINA, in navolging van anderen in binnen- en buitenland, bovendien gekozen voor de al genoemde context-conceptbenadering. Deze benadering zou juist de noodzakelijke nieuwe mogelijkheden bieden om het natuurkundecurriculum aan te passen aan de eisen van deze tijd. Dat is voldoende reden om ook daar straks nader op in te gaan en om deze benadering in historisch perspectief te plaatsen. Daarom zal ik met name ook aandacht besteden aan de inhoud van het PLON-curriculum, om te zien wat we daarvan hadden kunnen leren. Mijn overweging daarbij is opnieuw dat we voor

de oplossingen van vandaag zoveel mogelijk gebruik moeten maken van de ervaringen uit het verleden.

3 NLT en multidisciplinariteit – En inmiddels is ook ‘het grote broertje’ van ANW, aldus de voorzitter van de NLT-stuurgroep, een opnieuw totaal nieuw vak ‘Natuur Leven en Technologie’ (NLT), uit de grond gestampt. Streeft dat dan ‘hogere orde SL’ na? Of gaat het daarin om heel andere doelen?

Hoe dan ook, op een of andere manier zullen deze verschillende curriculummogelijkheden een gepaste bijdrage moeten leveren aan het verwezenlijken van het brede scala aan mogelijke onderwijsdoelen. En aan de oplossing van de beschreven spanning. Daarom wil ik deze mogelijkheden achtereenvolgens, in de komende hoofdstukken, nader bespreken.

3.2 Algemene Natuurwetenschappen en ‘Scientific Literacy’

3.2.1 Waarom ANW?

In 1992 hield ik mijn oratie⁷². Ik wees toen op “*de noodzaak om nieuwe wegen te vinden waarlangs de steeds groeiende kloof tussen het huidige natuurkundige wereldbeeld en dat wat in onderwijs aan bod komt, kleiner gemaakt kan worden. (...) Om deze kloof op school te kunnen verkleinen zullen we, naar mijn overtuiging, op een andere manier naar het vak en naar vakonderwijs moeten gaan kijken. Immers, als we blijven denken in termen van ‘van inhoudelijk elementair naar complex’, dan is het probleem bij voorbaat onoplosbaar. Dan komt er alleen steeds complexere kennis bij. We zullen, hoe dan ook, meer ruimte moeten scheppen voor de ‘grote ideeën en lijnen’ van de natuurkunde. Dit lijkt me juist wenselijk voor α-leerlingen en wellicht mogelijk door de invoering van een nieuw vak. Natuurkunde voor algemene vorming als een ‘ideëengeschiedenis’, bedoeld voor de natuurkundig geletterde burger. (...) Of nog beter, en wellicht haalbaarder, zou het zijn om daarvoor een vak ‘natuurwetenschap’ te creëren!*”⁷³

Mijn toenmalige wens: “*de gezamenlijke vakverenigingen van natuurwetenschappers zouden zich hiervoor moeten inzetten*” bleek, los hiervan, via een geheel onverwachte weg, al snel overbodig te zijn geworden, want inmiddels was gekozen voor de invoering in de Tweede Fase van het nieuwe vak ‘Algemene Natuurwetenschappen’⁷⁴. Echter niet alleen voor α-leerlingen, zoals ik had bepleit, maar verplicht voor alle bovenbouwleerlingen in HAVO/VWO. Een keuze die de ontwikkelingen in ANW, naar mijn overtuiging, niet ten gunste heeft beïnvloed. De Stuurgroep Tweede Fase had deze keuze voor ANW gemaakt omdat ze vond dat het aanbod aan leergebieden in de Tweede Fase een juiste afspiegeling moest zijn van “*datgene wat in de huidige samenleving als wenselijk of noodzakelijk*

⁷² Dankzij de door de Werkgroep Natuurkunde Didactiek ingestelde Bijzondere Leerstoel aan de UU. P.L. Lijnse (1992). *Natuurkunde leren begrijpen*. Utrecht: CD-β.

⁷³ Dit relateert uiteraard aan de befaamde kloof tussen de ‘Two Cultures’ van C.P. Snow.

⁷⁴ Figuur 15 en voorgaande beschrijving zou de indruk kunnen wekken dat ik van mening ben dat ik op deze ontwikkelingen enige invloed heb gehad. Dat zou dan uiteraard een misvatting van mij zijn.

wordt ervaren. Het huidige aanbod voldoet niet volledig aan de eis van brede algemene vorming. Voor een breed en evenwichtig onderwijsaanbod is het voor elke leerling van belang dat hij of zij in aanraking komt met zowel α -, als β - en γ -elementen.”⁷⁵



Figuur 15. Een kop uit de *Volkskrant*, 5 mei 1993.

Zij geeft dan de volgende toelichting bij de verplichting tot het voor iedereen opnemen van elementen uit het bètagebied:

“Het is van belang dat in het hoger onderwijs geschoolde mensen (levend in een maatschappij waar een groot deel van de beslissingen die er op politiek-maatschappelijk gebied genomen moeten worden (mede) met β -technische aspecten te maken hebben) tenminste in de Tweede Fase van het VO bekend zijn geworden met β -technische aspecten. Daarnaast en misschien wel op de eerste plaats is het voor iemands algemene vorming van belang om enig inzicht te verwerven in de wijze waarop natuurwetenschappelijke kennis tot stand is gekomen. Hoe verschijnselen in de natuurwetenschappen worden beschreven (vaak gebruik makend van modellen) en in onderlinge samenhang worden gebracht. Hoe ze beïnvloedbaar zijn en tot zo betrouwbaar mogelijke voorspellingen kunnen leiden. Deze elementen zouden in een nieuw te ontwikkelen leergebied, waarin ook technologische aspecten aan de orde komen (‘Algemene Natuurwetenschappen’) hun plaats kunnen vinden. Het vak moet algemeen vormend van aard zijn, hetgeen hier betekent dat de inhoud in een historische, filosofische, economische en maatschappelijke context wordt geplaatst.”

In de daarna verschenen vervolgnota (Scharnier II, 1994) schreef de Stuurgroep dat het voorstel voor invoering van dit vak over het algemeen met enthousiasme was ontvangen. Tevens werd in een bijlage ter verdere beeldvorming kort beschreven aan wat voor inhoudelijke invulling de Stuurgroep dacht. Inmiddels was een projectgroep in het leven geroepen, die de opdracht had gekregen de inhoud van dit vak verder uit te werken aan de hand van experimenteel voorbeeldesmateriaal en een daarop gebaseerd leerplan. Daarnaast had een vakontwikkelgroep de opdracht gekregen een examenprogramma vast te stellen. Kortom, de ontwikkeling van dit nieuwe vak was met ongekende voortvarendheid ter hand genomen.

⁷⁵ De Tweede Fase vernieuwt: Scharnier tussen basisvorming en hoger onderwijs, deel 1 (1993) en deel 2 (1994). Stuurgroep Profiel Tweede Fase Voortgezet Onderwijs. Den Haag.

3.2.2 Scientific Literacy: speciaal voor ANW?

Kun je nu zeggen dat ANW⁷⁶, gezien wat de Stuurgroep schreef en wat ik hierover vaak van docenten heb gehoord, vooral gericht moet zijn op ‘scientific literacy’ en het onderwijs in de mono-vakken op de voorbereiding op een wetenschappelijke opleiding? Of is dat een te simpele oplossing voor het omgaan met de hierboven genoemde spanning? Daarvoor wil ik eerst wat nader ingaan op het begrip ‘scientific literacy’.

“The science-literate person is one who is aware that science, mathematics and technology are interdependent human enterprises with strengths and limitations; understands key concepts and principles of science; is familiar with the natural world and recognizes both its diversity and unity; and uses scientific knowledge and scientific ways of thinking for individual and social purposes.”⁷⁷

Hierover zeggen de Jong et al.⁷⁸: *“Science literacy, or as many people say, scientific literacy, is thus considered vital to participation in a modern society. However that is about the end of the agreement as scientific literacy (SL) is a fuzzy concept that masks many different meanings. For instance, the term SL has been used to refer to content knowledge, communicative competency, science theory, and cultural and ethical perspectives. Its fuzziness doesn’t keep people from disagreement with the idea.”*

Millar⁷⁹ noemt de volgende eigenschappen om het begrip SL te karakteriseren:

- *“An appreciation of the nature, aims and limitations of science; a grasp of “the scientific approach”- rational argument, the ability to generalise, systematise and extrapolate; the roles of theory and observation;*
- *An appreciation of the nature, aims, and limitations of technology, and of how these differ from those of science;*
- *A knowledge of the way in which science and technology actually work, including the funding of research, the conventions of scientific practice, and the relationships between research and development;*
- *An appreciation of the interrelationships between science, technology, and society, including the role of scientists and technicians as experts in society and the structure of relevant decision-making processes;*
- *A general grounding in the language and some of the key constructs of science;*
- *A basic grasp of how to interpret numerical data, especially relating to probability and statistics;*
- *The ability to assimilate and use technical information and the products of technology: “user-competence” in relation to technologically advanced products;*

⁷⁶ Inmiddels is er ongehoord met dit vak gesold, zodanig dat het, met de profielherziening die is ingegaan in 2007, praktisch geheel verdwenen is op het HAVO. Op dat schooltype komt dus van het onderliggende ideaal van een brede ‘scientific literacy’ niets meer terecht. Juist voor de leerlingen in de maatschappij-profielen heeft het geen plaats meer gekregen. De argumentatie hiervoor is, als zo vaak in de politiek, uiteraard uiterst zwak geweest. Ook op het VWO is de omvang zodanig gereduceerd, dat betwijfeld kan worden of er nog een zinvolle invulling mogelijk is. Dat lijkt dus veel op opheffing op termijn, hetgeen dan ook juist wordt voorgesteld in de voorstellen van de voormalige Profielcommissies. Minister van Bijsterveldt heeft in 2012 opnieuw deze opheffing voorgesteld.

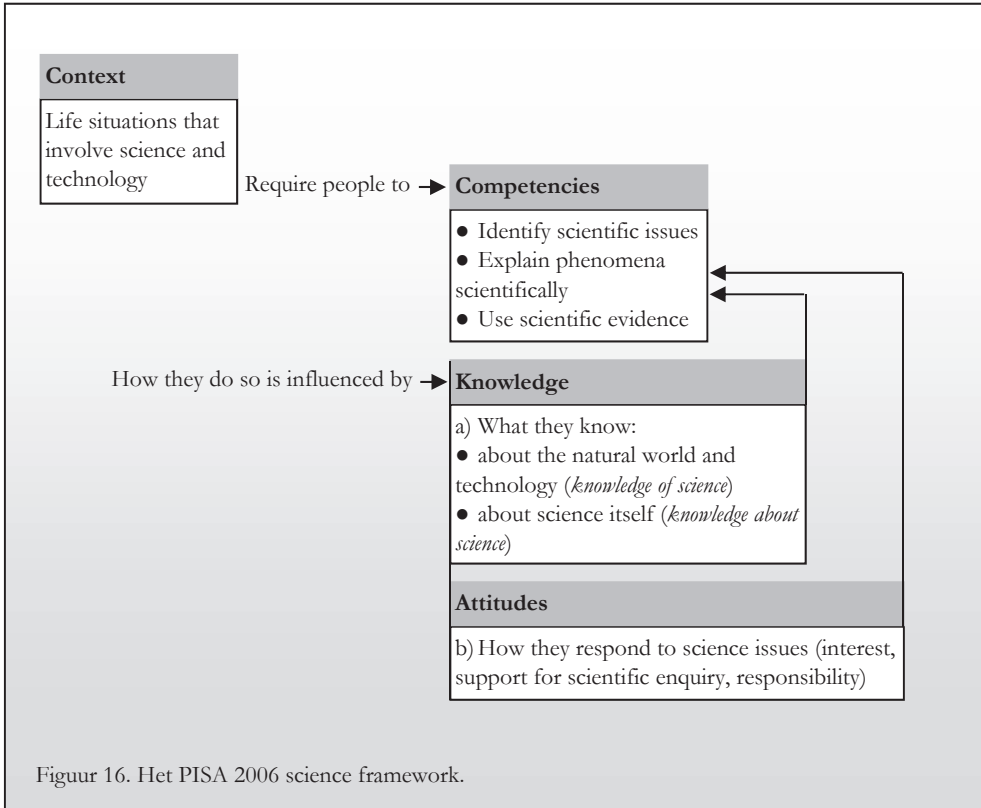
⁷⁷ F.J. Rutherford & A. Ahlgren (1991). *Science for all Americans*. New York: Oxford University Press.

⁷⁸ O. de Jong, E.R. Savelsbergh & A. Alblas (2001). *Teaching for Scientific Literacy*. Utrecht: CD-β Press.

⁷⁹ R. Millar (2006). Twenty First Century Science: Insights from the design and implementation of a scientific literacy approach in school science. *International Journal of Science Education*, 28, 1499-1521.

Ontwikkelingen in natuurkundeonderwijs

- *Some idea of where or from whom to seek information and advice about matters relating to science and technology.”*



In een poging het begrip ook toetsbaar te maken werkt het toonaangevende PISA-project⁸⁰ scientific literacy toch op een wat andere manier uit, en wel als volgt:

“PISA 2006 defines scientific literacy in terms of an individual’s:

- *Scientific knowledge and use of that knowledge to identify questions, to acquire new knowledge, to explain scientific phenomena, and to draw evidence-based conclusions about science-related issues. For example, when individuals read about a health-related issue, can they separate scientific from non-scientific aspects of the text, and can they apply knowledge and justify personal decisions?*
- *Understanding of the characteristic features of science as a form of human knowledge and enquiry. For example, do individuals know the difference between evidence-based explanations and personal opinions?*
- *Awareness of how science and technology shape our material, intellectual and cultural environments. For example, can individuals recognise and explain the role of technologies as they influence a nation’s economy, social organisation, and culture? Are individuals aware of environmental changes and the effects of those changes on economic and social stability?*

⁸⁰ PISA staat voor het ‘Programme for International Student Assessment’ van de OECD.

- *Willingness to engage with science-related issues, and with the ideas of science, as a reflective citizen. This addresses the value students place on science, both in terms of topics and in terms of the scientific approach to understanding the world and solving problems. Memorising and reproducing information does not necessarily mean students will select scientific careers or engage in science-related issues.”*

Uit de PISA-definitie volgt dat in feite alle natuurkundeonderwijs (of natuurwetenschappelijk onderwijs) bijdraagt aan SL, mits dit maar gekoppeld kan worden aan ‘life situations’ (zie figuur 16). PISA probeert ook wat preciezer uit te werken wat je nu mag verwachten dat een ‘scientific literate person’ in staat is om te doen. Een belangrijke toevoeging daaraan is dat “*scientific literacy must be grounded in the fundamental sense of literacy as the ability to analyse and interpret text. Science could not exist as an oral tradition; texts are essential, not optional. They are a constitutive feature of science – just as empirical data collection is. An understanding of science therefore requires the ability to read texts; literacy is at the core of scientific literacy.*”

Op grond hiervan herkennen we nu zelfs belangrijke elementen van SL in de eerder beschreven CMLN- en WEN-wensen, ook al speelde dit begrip zelf toen nog geen expliciete rol. Wel is het zo dat daarin de meer reflectieve elementen, dus kennis *over* natuurkunde, minder aandacht kregen ten gunste van de conceptuele diepgang, kennis *van* natuurkunde. En dat reflecteert dan precies de eerder genoemde curriculaire spanning. In onze onderwijspraktijk lijkt er echter door de invoering van ANW een soort kunstmatige tweedeling te zijn gegroeid, alsof deze reflectiecomponent een apart vak zou vereisen, met eigen werkvormen. Naar mijn overtuiging is dat een misvatting. De voor SL gewenste reflectie kan in principe net zo goed, of zelfs beter, in het onderwijs in de mono-vakken worden ingebouwd. Nog beter zelfs dan in ANW omdat hoe meer conceptuele breedte en diepgang mogelijk is, hoe breder en dieper de beschikbare kennis- en ervaringsbasis is voor reflectie. Het feit dat deze reflectie grotendeels ontbrak in het mono-vak onderwijs, betekent niet dat het daarin niet functioneel mogelijk zou zijn. Naar mijn overtuiging heeft de Stuurgroep, vanuit een misvatting over de mogelijkheden van het mono-vakonderwijs, gemeend een nieuw ‘reflectievak’ te moeten invoeren voor alle leerlingen, γ , β en α . Daardoor heeft de eigen identiteit van ANW van begin af aan onder druk gestaan en was deze, in ieder geval in het begin, voor veel leerlingen niet duidelijk. Dit gebrek aan eigen identiteit is nog versterkt door de manier waarop ANW uiteindelijk inhoudelijk is ingevuld, en heeft waarschijnlijk mede ten grondslag gelegen aan de manier waarop in opeenvolgende curriculumherzieningen met dit vak is gesold. Zo is op grond van een korte-termijnadvies van de toenmalige Profielcommissies, met ingang van augustus 2007 het vak ANW op de HAVO niet meer verplicht, en is voor het VWO de omvang drastisch beperkt. Deze commissies constateren bovendien dat ANW als vak heel klein is en weinig status heeft, en dat het mede daarom op lange termijn drastisch moet veranderen. Laten we, om te kunnen oordelen of dit wel terecht is, preciezer kijken naar hoe de invulling van ANW er uiteindelijk is komen uit te zien.

Maar eerst nog even terug naar het begrip scientific literacy zelf. Hiervoor heb ik, impliciet, een inhouds- en een reflectiecomponent onderscheiden, maar er is ook nog een andere optiek mogelijk in wat ik een actiecomponent zou willen noemen. Deze

sluit enigszins aan bij de vroegere maatschappij- en wetenschapskritische periode en het daaruit voortgekomen werk van de wetenschapswinkels. Het is standaard dat in onze gebruikelijke programma's steeds wordt benadrukt hoe belangrijk het is kennis toe te kunnen passen in de dagelijkse leefwereld. Daar wordt, in het kader van SL, nu een in- en externe reflectie aan toegevoegd op het proces van de wetenschap, haar methode en aard van haar kennis. Uiterst zinvolle zaken, maar het gaat nog steeds om wat ik een passief-reflectieve benadering zou willen noemen en niet om een actieve-gebruiksbenadering. Het gaat om toepassing van en reflectie op door anderen bedachte zaken, omdat de docent dat kennelijk voor mij, als leerling, nuttig vindt. En de vraag is of dat wel zo is, want, laten we wel wezen, wie gebruikt nu echt de op school geleerde natuurkunde in zijn dagelijks leven? In het voorgaande heb ik daar daarom al regelmatig een kanttekening bij gemaakt. Maar, als het gebruik in de leefwereld van de leerling serieus genomen wordt, dan moet het probleem ook door de leerling vanuit zijn leefwereld gesteld worden.⁸¹ Of op zijn minst daarin een echte plaats hebben. Scientific literacy komt er dan op neer wetenschappelijke kennis te kunnen mobiliseren, hetzij door zelf of samen met anderen te onderzoeken, hetzij door er deskundigen bij te betrekken, zodat er een 'evidence-based' oplossing komt voor jouw probleem. Pas als je op die manier wetenschap kunt gebruiken voor het welzijn van jezelf en je directe omgeving, kun je zeggen dat je echt wetenschappelijk 'literate' bent. Het zal duidelijk zijn dat deze component geen plaats heeft gevonden in ANW. Maar misschien wel in haar 'grote broertje'?

3.2.3 De inhoud van ANW

“Bij het examenprogramma van algemene natuurwetenschappen wordt uitgegaan van de gedachte dat leerlingen als onderdeel van hun algemene ontwikkeling onder meer een overzicht dienen te krijgen van wat er in grote lijnen in de natuurwetenschappen gebeurt. Hoe gaat men te werk, wat voor onderwerpen bestudeert men, wat zijn de belangrijkste beelden die dat oplevert en wat is het belang ervan voor andere aspecten van het maatschappelijk leven.

Maar er gebeurt meer in het vak. Enkele onderwerpen worden exemplarisch dieper onderzocht. De selectie daarvan maken leerlingen en docenten zelf, binnen grenzen die de inhoudelijke domeinen van het programma aangeven. Hiermee wordt in de eerste plaats beoogd de overgang van globale probleemstellingen naar detailonderzoek voelbaar en inzichtelijk te maken. In de tweede plaats komen de leerlingen hierdoor in direct contact met enkele natuurwetenschappelijke denkwijzen en technieken. In de derde plaats is het de bedoeling dat de leerlingen ook weer de terugkoppeling meemaken naar een globaal niveau, en zien dat het oplossen van deelproblemen vaak weer gevolgen heeft voor andere gebieden. Het bewust ervaren van deze processen wordt belangrijker geacht dan het in detail beheersen van de specifieke natuurwetenschappelijke inhouden die aan de orde komen. Vandaar dat flexibiliteit is nagestreefd in de opzet van het programma. Om aan te kunnen sluiten bij de motivatie van individuele leerlingen en groepen van leerlingen, biedt het programma keuzevrijheid ten aanzien van de onderwerpen die worden uitgediept.”

⁸¹ M. van Eijck (2012). Capturing the dynamics of science in science education. In: B.J. Fraser et al. (Eds.), *Second International Handbook of Science Education* (pp. 1029-1040). Dordrecht: Springer.

De door Van Eijck geschetste optiek heeft bij ANW geen rol gespeeld. Maar in nieuwere ontwikkelingen als NLT en het vak 'Ontwerpen & Onderzoeken' kom je impliciet wel elementen daarvan tegen.

Aldus een voorlichtingsbrochure van de SLO uit 1996, waarin de hoofdkenmerken van ANW, namelijk ‘grote lijnen ten aanzien van natuurwetenschappelijke inhoud en werkwijzen, gekoppeld aan exemplarische uitdieping en veel keuzevrijheid voor leerlingen en docenten’, duidelijk naar voren komen. Het uiteindelijke ANW-examenprogramma werd opgedeeld in zes domeinen:

domein A: Vaardigheden (met 7 subdomeinen);

domein B: Analyse en reflectie met betrekking tot natuurwetenschap, techniek en de rol van mensen (met 3 subdomeinen);

domein C: Leven (met 3 subdomeinen);

domein D: Biosfeer (met 2 subdomeinen);

domein E: Materie (met 3 subdomeinen);

domein F: Zonnestelsel en heelal (met 3 subdomeinen).

Deze domeinen staan in een bepaalde relatie tot elkaar. Zo geldt zowel voor domein A als B dat de daarin genoemde onderdelen en eindtermen niet op zichzelf staan, maar in combinatie met de inhoud van de andere domeinen aan de orde moeten komen. De domeinen C t/m F geven de ‘cases’ met behulp waarvan de vaardigheden, en de analyse en reflectie, inhoudelijke handen en voeten moeten krijgen.

Zo wordt domein B, bijvoorbeeld, uitgewerkt tot tien eindtermen, waarvan ik er hier ter illustratie drie wil weergeven.

- Uit het subdomein kennisvorming (de eerste van vier eindtermen): de kandidaat kan met voorbeelden uitleggen hoe onderzoekers tot kennis over de natuur komen en daarbij de volgende aspecten van onderzoek onderscheiden: waarnemen en beschrijven van verschijnselen; ordenen en zoeken van regelmatigheden; formuleren van verklaringen en theorieën; confrontatie van deze verklaringen met bestaande theorieën; voorspellingen afleiden en toetsen.
- Uit het subdomein ‘toepassing van kennis’ (de eerste van twee eindtermen): de kandidaat kan aan de hand van voorbeelden uitleggen hoe mensen producten ontwerpen en technieken ontwikkelen ten behoeve van maatschappelijke toepassingen, en dat zij daarbij natuurwetenschappelijke kennis gebruiken.
- Uit het subdomein ‘reflectie en analyse’ (de eerste van vier eindtermen): de kandidaat kan een oordeel geven over de betrouwbaarheid van een bewering die betrekking heeft op de kwaliteit en werking van een product dan wel op de effecten van acties of behandelingen dan wel op de resultaten van een natuurwetenschappelijk onderzoek.

Deze (illustratie van) B-eindtermen moeten dus toegepast kunnen worden op de inhoudelijke domeinen, waarvoor ook weer eindtermen zijn geformuleerd. Ter illustratie daarvan volgen nu drie (van de zeven) eindtermen voor domein E: Materie.

- Uit het subdomein ‘kenmerken van stoffen’ (de eerste van vier eindtermen): de kandidaat kan met voorbeelden aan leken uitleggen dat stoffen in de levende en niet levende natuur zijn opgebouwd uit elementen.
- Uit het subdomein ‘productie van materialen’ (de eerste van twee eindtermen): de kandidaat kan voorbeelden noemen van stoffen en materialen die in de loop van de tijd in verschillende culturen worden en werden geproduceerd en de betekenis van die producten voor het dagelijks leven aangeven. (Te denken valt aan: materialen om mee

Ontwikkelingen in natuurkundeonderwijs

te schrijven, verfstoffen, geneesmiddelen, schoonmaakmiddelen, bestrijdingsmiddelen, voedingsmiddelen, brandstoffen.)

- Uit het subdomein ‘ontstaan van kennis over de materie’ (de enige eindterm): de kandidaat kan met voorbeelden uitleggen dat bij de ontwikkeling van ideeën over de aard van de materie zowel kennis over de productie van stoffen als veronderstellingen over de bouwstenen van de materie die niet direct waarneembaar zijn een rol hebben gespeeld. (Te denken valt aan de ontdekking van: de elementen, het periodiek systeem, atoommodellen, de rol van fysische en chemische technieken bij het trekken van conclusies over het bestaan van chemische structuren, atomaire en subatomaire deeltjes.)

Methodeschrijvers hebben, in opdracht van uitgevers, een aantal fraai uitgevoerde lesmethoden voor ANW ontwikkeld. Het is leerzaam om te kijken hoe deze eindtermen uiteindelijk in zo’n methode zijn terecht gekomen. Om daarvan een indruk te krijgen, geef ik hier de hoofdstukindeling en korte inhoud van de VWO-methode ‘Solar’ (Wolters Noordhoff).

1 Ontwikkeling – Dit hoofdstuk gaat over vier voorbeelden van technieken; elk voorbeeld laat zien hoe mensen technische oplossingen bedenken voor problemen: researchewerk, de anticonceptiepil, navigatie en ruimtevaart.

2 Techniek – Dit hoofdstuk gaat over de invloed van techniek op de mens en de manier waarop hij techniek gebruikt en aan zijn wensen aanpast. Dit aan de hand van de ontwikkeling van geluidsdragers en het toilet als voorbeelden. Daarna komt de menselijke maat van producten en de manier waarop ontwerpers werken aan de orde.

3 Gezondheid en Ziekte – Er heeft zich de laatste honderd en vijftig jaar een ware medische revolutie voltrokken. Deze wordt besproken aan de hand van het werk van mensen als Semmelweis, Pasteur en Koch. Tenslotte is ook wetenschap mensenwerk.

4 Productie – Om je heen zie je producten in alle soorten en maten. Dit hoofdstuk gaat over productie in het groot en wat daarbij komt kijken. Dit aan de hand van vier voorbeelden: jam, frisdrankblikjes, de kleurstof van spijkerbroeken en het geneesmiddel penicilline.

5 De onderzoeker – Hierin staan de natuurwetenschappelijke onderzoeker en zijn of haar manier van werken centraal. De gewoontes en regels van natuurwetenschappelijk onderzoek doen en de rol van natuurwetenschappers in de maatschappij.

6 Overbevolking – Over bevolkingsgroei, grenzen aan de groei, voedselbehoefte en productie, en duurzame ontwikkeling

7 Zonnestelsel en heelal – Over onze tijdrekening en kalender, het zonnestelsel, de inhoud en ontstaan van het heelal, en de apparatuur waarmee we dat waarnemen.

8 Leven op aarde – Over een leefbare planeet, de grenzen aan de temperatuur en hoe modellen dit voorspellen, en de invloed van de mens op de biosfeer.

9 Geheimtaal van het leven – Over de jacht op het DNA, of je wel wilt weten wat jouw DNA voor jou in petto heeft, genetische manipulatie en wat het humane genoom project voor ons kan gaan betekenen.

10 Wentelend wereldbeeld – Over wetenschappelijke omwentelingen, te weten: het heliocentrische wereldbeeld en de evolutietheorie.

In deze hoofdstukken herkennen *wij* een aantal belangrijke onderwerpen uit de natuurwetenschappen en de techniek, met speciale aandacht voor technisch ontwerpen en de ontwerper, voor reflectie op kennis en kennisverwerving, en voor de onderzoeker. Maar hoe is het als we deze hoofdstukken lezen vanuit het perspectief van de leerlingen? Met alleen de onderbouwkennis als vooropleiding. Zullen die leerlingen dan ook het idee hebben dat ze een rondgang door de natuurwetenschappen maken, of zullen de behandelde onderwerpen voor hen toch vooral los van en naast elkaar staan? *“We hebben verf gemaakt, schimmels gekweekt, een discussie over de bouw van het zonnestelsel en over de bouw van een chloorfabriek gevoerd. Het was leuk om te doen, maar het is me nog niet duidelijk waar ANW nou over gaat.”*⁸² Dit lijkt me een kenmerkend citaat. Volgens Pieters legt dit citaat zowel een zwakke als een sterke kant van ANW bloot. *“De sterke kant is dat veel onderwerpen uit natuurwetenschap en techniek zich voor nadere studie in ANW lenen. (...) De zwakke kant is dat de objecten en verschijnselen die aan de basis van het vak staan, slechts op een hoger abstractieniveau met elkaar verbonden zijn. Je ziet het verband pas als je op dat abstractieniveau bent. Maar leerlingen helpen op dat niveau te komen, dat is nou juist een belangrijk doel van ANW.”*

Ik denk dat wat Pieters de sterke kant noemt, eigenlijk helemaal niet zo sterk is. Natuurlijk is het juist dat er welhaast een ontelbaar aantal onderwerpen uit natuurwetenschap en techniek in principe geschikt zijn voor ANW. Dat illustreert juist een enorm keuzeprobleem. Waarom zou je immers juist *dát* onderwerp kiezen en niet dat andere? Natuurlijk, voor ons is die ene keuze exemplarisch voor vele andere, maar voor leerlingen *kán* dat nog niet zo zijn en gaat het dus gewoon om dat onderwerp. En dan lijkt er eerder sprake van willekeur, zoals ook uit de weergegeven inhoudsopgave naar voren komt. Daaruit blijkt ook dat er, mijns inziens, geen duidelijke eenstemmige visie aan het vak ten grondslag heeft gelegen. In de eindtermen, maar meer nog in het voorbeeldlesmateriaal en de daarop gebaseerde ANW-methoden, herkennen we het compromiskarakter dat zo kenmerkend is voor ons land. Allerlei belangengroepen hebben hun invloed doen gelden. Er is niet eenduidig gekozen voor een reflectieve ‘grote lijnen’ invulling, met een daarop gerichte didactiek, maar deze is gecombineerd met ‘ook nog natuurwetenschap en astronomie’, met ‘leren door zelf maken en onderzoeken’, en natuurlijk ‘techniek en zelf technisch ontwerpen’ en uiteraard veel ICT. In termen van de SLO-brochure, naast de grote lijnen zijn er de exemplarische verdiepingen in ‘case studies’, die steeds in functionele relatie tot elkaar zouden moeten staan. De uitwerking is echter zodanig geworden, bijvoorbeeld zoals in ‘Solar’, dat de, op zich misschien heel interessante, ‘case studies’ de overhand hebben gekregen en er geen of onvoldoende aandacht is geweest voor een verbindende ‘story line’. Ik ben het ook niet eens met Pieters dat deze samenhang alleen op het niveau van reflectie op wetenschap en techniek zou moeten en kunnen liggen, maar dat deze juist ook gezocht moet worden op het inhoudelijk niveau. Dat kan door een inhoudelijk doorlopend verhaal te vertellen, in plaats van door losse exemplarische ‘case studies’. Deze tweeslachtigheid zien we ook terug in de gebruikte didactiek. Er wordt gebruik gemaakt van ‘nieuwe’ activiteiten gericht op informatievergaring en verwerking, me-

⁸² M. Pieters (1997). De mens, materie, modellen, machten van tien: overwegingen bij een leerplan Algemene Natuurwetenschappen. *TD-β*, 14, 128-148.

ningsvorming en discussie, die als specifiek voor ANW zijn gaan gelden, maar daarnaast moest er toch ook gewoon geëxperimenteerd, onderzocht en technisch ontworpen kunnen worden. Merkwaardig genoeg heeft ANW zelfs het etiket gekregen dat het juist bij uitstek geschikt zou zijn om aandacht te geven aan de rol van modellen, terwijl ook dat natuurlijk veel beter kan in het mono-vakonderwijs (ook al gebeurt het daar misschien te weinig).

Naar mijn overtuiging is het basisprobleem voor ANW altijd gebleven dat het een vak voor alle profielen en alle leerlingen moest zijn. Daardoor is men toch te dicht gebleven bij een nieuwe variant op een ‘echt’ natuurwetenschappelijk vak, en is het identiteitsprobleem voor leerlingen nooit echt opgelost. Voor α -leerlingen geldt te vaak: ‘Ik hoef toch niet zo diep op de dingen in te gaan dat ik het niet meer interessant vind?’ Terwijl voor β -leerlingen juist te vaak de vraag aan de orde is: ‘Mag ik wel zo diep op iets in gaan dat ik het interessant vind worden?’ En als het antwoord daarop bevestigend is, wordt voor hen het antwoord op de vraag waarin ANW nu afwijkt van de mono-vakken er natuurlijk niet echt helderder op. Dit zou allemaal niet nodig zijn geweest als de Stuurgroep Tweede Fase ANW alleen voor de maatschappijprofielen had ingevoerd. Dan had het qua inhoud en didactiek echt gericht kunnen zijn op die leerlingen. En daarnaast had de reflectieve invalshoek moeten worden toegevoegd aan de natuurwetenschappelijke mono-vakken, waarin dat voor β -leerlingen ook veel beter tot zijn recht had kunnen komen. Maar waarschijnlijk zou het, in het licht van de nieuwe nadruk op de basisvakken, ook dan zijn afgeschaffd!

3.2.4 Een probleemstellende ‘Story Line’ voor ANW (en voor Natuur-Kennis?)

Ik wil nu mijn bovenstaande bewering dat het voor ANW ten onrechte ontbreekt aan een voor leerlingen duidelijke inhoudelijke samenhang, illustreren door middel van de schets van een alternatief. Ik ga daarbij uit van een hypothetisch vak voor α - en γ -leerlingen. Dit heeft belangrijke consequenties voor de te hanteren didactiek. Voor die groep leerlingen zou ik namelijk voor de didactiek te rade willen gaan bij wat gebruikelijk is in vakken als geschiedenis, economie, maatschappijleer, of literatuur. En dus juist niet uitgaan van wat in de bètadidactiek gebruikelijk is, dat wil zeggen dat leerlingen zelf (leren) experimenteren, (leren) onderzoeken of (leren) ontwerpen. Voor de inhoud grijp ik grotendeels terug op mijn lezing voor de toenmalige vakontwikkelgroep ANW (1994), maar ik wil daar nu een probleemstellende optiek aan toevoegen. Deze optiek is er, qua invalshoek, nu juist op gericht om tegemoet te komen aan mijn hierboven geformuleerde kritiek van gebrek aan samenhang en eenduidige visie. Een probleemstellende aanpak heeft het doel om het voor leerlingen steeds *inhoudelijk* duidelijk te laten zijn ‘waarom ze wat aan het doen zijn’. Kern van een probleemstellende aanpak is dat eerst, als ‘advance organiser’, een globaal motief wordt geformuleerd voor het geheel, en dat vervolgens de behandeling van deelonderwerpen steeds wordt gemotiveerd vanuit aan het globaal motief te ontleen opeenvolgende lokale motieven, dat wil zeggen dat de ‘story line’ zijn samenhang ontleent aan het feit dat het steeds gaat om een verdere uitwerking van het globale motief. Op die manier wordt

voorkomen dat de leerlingen op reis gaan in een geblindeerde trein, waarvan alleen de machinist de eindbestemming kent, om nogmaals Osborne (zie boven) te citeren. In 1994 formuleerde ik het doel van ANW aldus: “*In de literatuur wordt tegenwoordig veel geschreven over ‘natuurwetenschappelijke geletterdheid’. Het zou voor de hand liggen om het bijdragen hieraan als doel voor het nieuwe vak te formuleren, maar het probleem is dat dit doel dan nog allesbehalve duidelijk is. ‘Natuurwetenschappelijke geletterdheid’ dreigt al gauw vertaald te worden in een schier onuitputtelijke lijst van begrippen en onderwerpen waar een ‘geletterde’ leerling toch van op de hoogte zou moeten zijn. Daarom zou ik het doel van het nieuwe vak anders willen formuleren, namelijk als: geletterdheid ten aanzien van het ‘verschijnsel natuurwetenschap en technologie’, dat wil zeggen leerlingen een beeld geven ten aanzien van wat natuurwetenschap en technologie inhouden, wat voor soort vragen er door beantwoord worden en welke niet, en wat het culturele en maatschappelijke belang is van deze activiteiten. De te behandelen begrippen en onderwerpen dienen dan vanuit deze optiek behandeld en gekozen te worden, en niet vanuit hun eigen intrinsieke belang. Dat laatste leidt immers bijna als vanzelf tot de al genoemde waslijst, terwijl het eerste, naar mijn vermoeden, het maken van keuzen beter verantwoordbaar maakt.*”

Resulteert de vraag: hoe kan zo’n brede cultureel-maatschappelijke invulling van ANW er dan uitzien? Ik denk dat het vanuit de veronderstelde interesse van α/γ -leerlingen gedacht, belangrijk is om uit te gaan van *samenhangende* vraagstellingen die *niet typisch* van natuurwetenschappelijk/technische aard zijn, maar hen juist kunnen aanspreken vanwege hun *diepere en algemenere* belang. Tegelijkertijd willen we deze vraagstellingen zo kiezen, dat het voor de beantwoording *nodig en relevant* is om leerlingen een beeld te geven van waar natuurwetenschap en technologie zich mee bezig houden; wat daarin tot nu toe bereikt is; wat de belangrijke grote vragen zijn waaraan nu gewerkt wordt; wat de maatschappelijke implicaties daarvan zijn; en wat we daarvan in de toekomst mogen verwachten. Kunnen we, bij voorkeur uitgaande van en terugkerend bij de menselijke maat, als het ware een cirkelgang door natuurwetenschap en technologie motiveren, waarbij we aandacht besteden aan wat we (denken te) weten en niet weten over het natuurlijke en het door mensen gemaakte, het dode en het levende, het hele kleine en het hele grote, het zekere en het onzekere, het verleden en de toekomst, het gebruiken en het beheren, etc. Bijvoorbeeld als volgt.

1 Algemene Natuurwetenschappen: waar gaat dat over en waarom dit vak – Het doel van dit thema zou moeten zijn om in grote lijnen samen te vatten wat er in de onderbouw aan de orde is geweest, en hierin structuur aan te brengen volgens de contouren van natuurwetenschap en technologie. Om vervolgens deze contouren te *problematiseren* door in te gaan op de vraag waarom en hoe dit ‘maatschappelijk verschijnsel’ aan de orde komt in profielen die gericht zijn op cultuur, economie en maatschappij. Als cultureel fenomeen richt dit ‘verschijnsel’ zich op fundamentele kennisvragen als: wat is (menselijk) leven, op welke aarde leven wij, van welke kosmos maken wij deel uit? Als economisch fenomeen kunnen we stilstaan bij de ontwikkeling van ons, vooral op natuurwetenschappelijke kennis gebaseerde, technisch kunnen. Als maatschappelijk fenomeen stelt zich de vraag hoe maatschappelijk en ethisch verantwoord om te gaan met dit soort kennis en kunde?

2 De evolutie van het (menselijk) leven – In zo’n thema staan we stil bij de natuurwetenschappelijke kant van onszelf als levend wezen. Wat kunnen we allemaal al na-

tuurwetenschappelijk beschrijven en waar is men nu juist naar op zoek? De hoofdlijnen van de relaties tussen functies en vorm van levende wezens en van de belangrijkste structuren die er deel van uitmaken; de mens als een zichzelf organiserend en regulerend levend organisme, (dat soms echter toch ontregeld raakt en waarvoor dan weer oplossingen gezocht moeten worden). Hoe plant dat levende zich voort en hoe is het ontstaan? Wat weten we van de rol van erfelijkheid en de rol van de hersenen als ‘centrale processor’. Kunnen we dat manipuleren en nabouwen? Mogen we dat? Is een mens meer dan wetenschappelijk beschrijfbaar materie? Hoe is het leven juist op deze aarde ontstaan?

3 De evolutie van de planeet waarop wij leven – Dat brengt ons naar het leven op deze planeet. Is die speciaal? Hoe is die ontstaan en waaruit bestaat hij? Hoe ziet die er natuurwetenschappelijk gezien uit? Wat heeft dat te maken met de levensvormen die we hier op aarde kennen, en waarom juist deze? Wat zijn de condities voor leven en waarom zijn die juist hier vervuld (het antropisch principe)? Hoe worden die condities in stand gehouden, en hoe gevoelig zijn ze voor veranderingen (en bedreigingen)? Kunnen we daar ook voorspellingen over doen? Is er ook elders leven mogelijk?

4 De evolutie van onze kosmos – Daarvoor moeten we kijken naar de kosmos, naar andere planeten en de sterrenwereld daar achter. Om bij de vraag uit te komen wat we eigenlijk van onze kosmos denken te weten. En wat we nog zouden willen weten. Dan ontkomen we niet aan het verhaal van de BIG BANG en hoe zich van daaruit, naar men zegt, de materie en het heelal heeft ontwikkeld, zoals we dat nu kennen. Komt daar ook ooit een eind aan? Hoe zeker weten we dit? En is dit soort kennis alleen van cultureel belang of kunnen we die ook nuttig maken voor ons leven hier?

5 De evolutie van ons technisch kunnen – Techniek is handelen met materie tot nut van ons mensen. Dus met de evolutie van onze kennis van materie is er ook een evolutie van ons technisch kunnen mogelijk geworden. Aan de condities voor leven kunnen we niets veranderen, maar door ons technisch kunnen misschien wel aan de kwaliteit van leven. Wat voor kennis heeft zoal geleid tot wat voor technologische (en economische) ontwikkelingen? En waar wordt nu aan gewerkt? Is dat wel altijd wenselijk? Wordt dat ook gestuurd?

6 De evolutie van onze kennis en verantwoordelijkheid – Natuurwetenschap en technologie hebben als maatschappelijk verschijnsel een geweldige ontwikkeling door gemaakt. Wie stuurt dat eigenlijk en wie is daar voor verantwoordelijk? In de voorgaande thema’s is een veelheid van wetenschappelijke inzichten en vragen de revue gepasseerd. Natuurwetenschap heeft kennelijk een geweldige hoeveelheid know-how opgeleverd die lijkt te ‘werken’. Dat houdt het gevaar in zich dat soms de meest fantastische gedachten als zekerheden naar voren worden gebracht, maar hoe zeker is dit soort (cultureel bepaalde?) kennis eigenlijk? Wat ‘garandeert’ dat het ‘werkt’? Zijn er ook andere ‘ways of knowing’? En wat onderscheidt ‘natuurwetenschappelijke en technologische kennis’ dan van andere kennis? En waar liggen haar beperkingen? Leidt deze kennis ook tot vooruitgang, en zo ja, in welke zin? Economisch, ethisch, maatschappelijk?

Het lijkt me dat hier een prachtig doorlopend verhaal van te maken is, op populariserend niveau te vertellen, als voortdurend spel van vraag en antwoord. Het gaat dan

niet meer over het beheersen van natuurwetenschappelijke details en concepten, daarvan hebben deze α - en γ -leerlingen immers juist afgezien, maar over de natuurwetenschappelijke geschiedenis en toekomst van ons als mensen⁸³. Als je mocht denken dat dit conceptueel voor hen veel te hoog gegrepen is, kijk dan eens in de geschiedenis-, economie- of maatschappijleerboeken die zij moeten doorwerken en realiseer je wat voor ongreepbare abstracte concepten daarin aan de orde komen. En ook hoe de didactiek in deze vakken veelal bestaat uit het vertellen en doen leren bevatten van een meer of minder boeiend verhaal. Ons verhaal kan minstens zo boeiend zijn, lijkt me. Het idee van een populariserend verhaal, dat juist niet gericht is op grondige beheersing van fundamentele concepten, wordt bijvoorbeeld ook gedeeld door de gerenommeerde Engelse didacticus Ogborn⁸⁴, als hij schrijft: *“It follows that a good part of science education has to be devoted to popularising scientific knowledge and to giving popularised accounts of how that knowledge was established.”* Maar tegelijkertijd wijst hij er op dat dit wel een omslag vraagt, omdat: *“This idea goes against the grain of the way many of us think about teaching science.”*

Het is dan ook uiterst leerzaam om wat dit betreft nog even te rade te gaan bij een populairwetenschappelijk schrijver als Bill Bryson⁸³. In de inleiding van zijn boek schrijft hij: *“Mijn eigen uitgangspunt was een geïllustreerd natuurkundeboek dat ik in de vierde of vijfde klas als leerboek had. Het betrof hier een standaardleerboek uit de jaren vijftig – gehavend, onaantrekkelijk, ontmoedigend dik – maar ergens voorin stond een afbeelding die me zonder meer boeide: een schematische voorstelling die het binnenste van de aarde toonde zoals het eruit zou zien als je met een groot mes in de planeet sneed en voorzichtig een moot ter grootte van een kwart van zijn omvang verwijderde.*

Het is nauwelijks voor te stellen dat er ooit een tijd was waarin ik nog niet eerder zo’n afbeelding had gezien, maar dat had ik duidelijk niet, want ik herinner me dat ik als aan de grond genageld stond. (...); maar geleidelijk aan richtte mijn aandacht zich op een leergieriger wijze op het wetenschappelijk belang van de afbeelding en het besef dat de aarde uit bescheiden lagen bestond die in het midden uitkwamen op een gloeiende bal van ijzer en nikkel die, aldus het onderschrift, zo heet was als het oppervlak van de zon, en ik herinner me dat ik me met oprechte verbazing afvroeg: ‘Hoe kunnen ze dat nu weten?’ (...)

Opgewonden nam ik het boek die middag mee naar huis waar ik het nog voor het eten open sloeg (...) om het vanaf de eerste bladzijde te gaan lezen.

En nu komt het. Het was helemaal niet opwindend. Het was eigenlijk totaal onbegrijpelijk. Daar komt nog bij dat het geen van de vragen beantwoordde die de afbeelding bij een gemiddelde onderzoekende geest zou oproepen: hoe zijn we aan een zon in het centrum van onze planeet gekomen? En als het daar beneden voortdurend brandt, waarom voelt de grond onder onze voeten dan niet warm aan? En waarom smelt de rest van het binnenste niet – of smelt die wel? En als de kern ten slotte uitbrandt, zal dan een deel van de aarde in die leegte zakken, zodat er een enorme zinkput in het oppervlak achterblijft? En hoe kun je dit weten? Hoe ben je dit te weten gekomen?

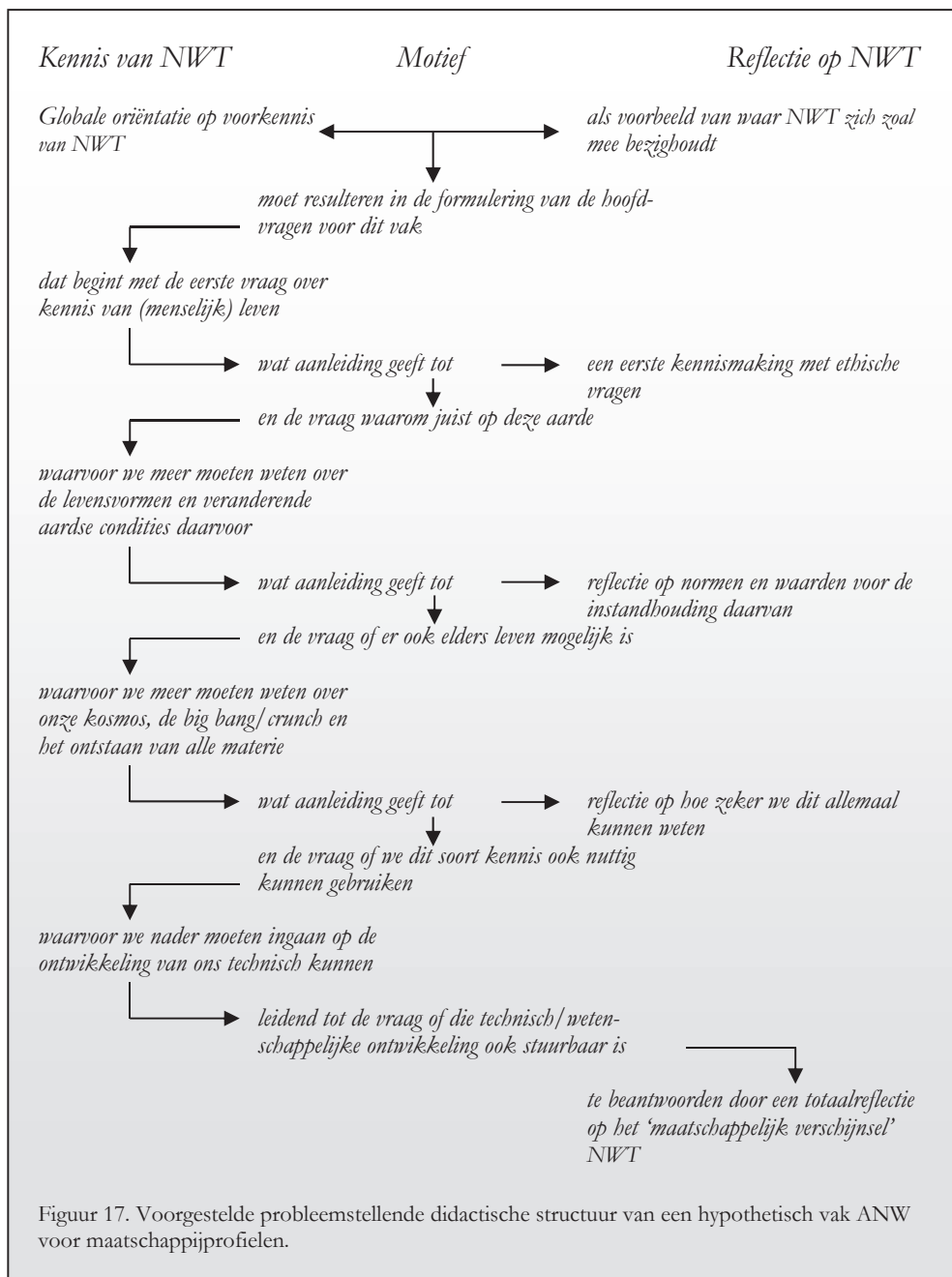
⁸³ Een prachtig voorbeeld van zo’n populariserend verhaal is te vinden in het boek van Bill Bryson: *Een kleine geschiedenis van bijna alles*, Amsterdam: Atlas, 2004. Als je zo’n verhaal zou didactiseren en illustreren kom je een heel eind in de goede richting.

⁸⁴ J. Ogborn (2004). Science and technology: What to teach? In: M. Michellini (Ed.), *Quality Development in Teacher Education and Training* (pp. 69-84). Udine: Forum.

Maar over zulke details was de auteur ongewoon zwijgzaam – sterker nog, hij zweeg over alles behalve anticlinen, synclinen, axiale verschuivingen en dergelijke. Het leek wel of hij de dingen die er toe deden geheim wilde houden door het allemaal ondoorgrondelijk te maken. Naarmate de jaren verliepen begon ik te vermoeden dat het in geen geval een persoonlijke drijfveer betrof. Er leek een geheimzinnige wereldomvattende samenzwering tussen schrijvers van leerboeken te bestaan om er zeker van te zijn dat het materiaal dat ze behandelen nooit te dicht in de buurt van het enigszins interessante komt en altijd minstens mijlenver van het werkelijk interessante.(...) Al mijn leerboeken waren geschreven door mannen (het waren altijd mannen) die er de boeiende opvatting op na hielden dat alles duidelijk zou worden als het in formules werd gevat en met de vermakelijk misleide veronderstelling dat Amerikaanse kinderen het zouden waarderen als de hoofdstukken eindigen met een lijst vragen die ze in hun eigen tijd kunnen overdenken. Dus groeide ik op in de overtuiging dat wetenschap uitgesproken duf was, maar met het vermoeden dat ze dat niet hoefde te zijn, zodat ik me er, als ik het kon vermijden, niet echt mee bezigield.”

Deze boodschap moeten we ons aantrekken, juist voor de leerlingen in de maatschappijprofielen. En ik denk dat de door mij geschetste lijn daar een heel eind in tegemoet komt. Ik wil ter verduidelijking de probleemstellende benadering in bovenstaand verhaal nog een keer expliciteren en samenvatten in de vorm van de onderliggende didactische structuur (zie figuur 17). Deze structuur bestaat uit drie kolommen. De eerste geeft globaal aan welke inhoudelijke NWT- kennis (NWT staat nu voor Natuurwetenschap en Technologie) er aan de orde komt, de derde geeft aan waar en vanuit welke optiek er op het verschijnsel NWT gereflecteerd kan worden. De tweede kolom geeft de inhoudelijk motieven weer die de samenhang in de ‘story line’ beschrijven, waardoor het voor leerlingen duidelijk moet zijn waarom ze op een gegeven moment wat aan het doen zijn, en waardoor het ook tot één vak wordt.

Met deze structuur wil ik illustreren dat het nodig en mogelijk is, ook al kunnen we uiteraard over de details van de gemaakte keuzen van mening verschillen, om vanuit één visie te komen tot een samenhang in keuzen en uitwerking. Zoals gezegd stelde ik deze uitwerking voor als mogelijk alternatieve inhoud van een vak ANW voor de maatschappijprofielen. Dus voor een hypothetische situatie, want dit vak bestaat helemaal niet. Ik vleide me dan ook niet met de gedachte dat mijn voorstel ooit een uitwerking zal vinden in de schoolpraktijk en dat maakt het fantaseren uiteraard veel gemakkelijker. Wie schetst mijn verbazing toen ik in het rapport van de Profielcommissies tegenkwam dat met het kleine vak ANW “niet voldaan kan worden aan de kwantitatieve en kwalitatieve eisen” die aan deze component van algemene ontwikkeling en vorming gesteld dient te worden. “Hoger opgeleiden zullen straks, nog meer dan nu, samenwerken met collega’s uit verschillende disciplines. De klassieke scheiding tussen alfa- en gammadisciplines enerzijds en bètatechnische disciplines anderzijds is daarbij minder scherp dan in het verleden. Hoger opgeleiden van de toekomst zullen daarom een brede basiskennis moeten hebben van de verschillende componenten om goed met anderen te kunnen samenwerken.” En daarvoor is het huidige ANW dus te klein qua omvang. Daarnaast vinden deze commissies dat zowel de scholing in de natuurwetenschappen, als die in de maatschappij- en cultuurvakken nu te eenzijdig in de respectievelijke profieldelen plaatsvindt. “De te brede kloof tussen alfa/gamma enerzijds en bèta anderzijds, zoals in de samenleving al vaak gesignaleerd, wordt hierdoor in stand gehouden.” Daarom stellen de Profielcommissies voor de langere termijn voor om drie brede



vakken van algemene ontwikkeling en vorming op te nemen in het gemeenschappelijke deel van HAVO en VWO, en wel *natuurkennis* voor leerlingen met het maatschappijprofiel, *maatschappijkennis* voor leerlingen met het natuurprofiel en *cultuur en kunst* voor alle leerlingen. Het goede hieraan is, naar mijn oordeel, dat dit nieuwe vak natuurken-

nis nu niet meer schoolbreed wordt voorgesteld, maar inderdaad kan worden toegepast op de leerlingen in het maatschappijprofiel⁸⁵. En daarmee wordt de vergissing van de Stuurgroep Tweede Fase ten aanzien van het schoolbrede ANW dus hersteld. Over dit nieuwe vak zeggen de Profielcommissies vervolgens dat het toch ook weer niet geheel nieuw is, omdat het bestaande vak ANW er in kan worden opgenomen. *“De inhoud van het vak natuurkennis zal bestaan uit basale kennis op voortgezet niveau op het gebied van natuurwetenschappen en techniek. Het gaat dan om basisconcepten uit verschillende bètabrede disciplines waarbij de nadruk ligt op inter- en multidisciplinaire concepten. Deze concepten worden aangeboden in contexten, waarvoor onderwerpen van algemeen belang worden gekozen, zoals energie en duurzaamheid, zekerheid en veiligheid, hersenen en gedrag, en erfelijkheid/vortplanting en gen-technologie. Het vak natuurkennis bestaat uit modules. Bij de keuze van dergelijke modules, verplichte en vrij te kiezen modules, is een zekere mate van profielkleuring gewenst om leerlingen met een maatschappijprofiel te laten zien hoe de natuurwetenschappen een rol kunnen spelen in maatschappelijke thema's. Tevens kan dit programma informatie geven over de wijze waarop ICT kan bijdragen aan het oplossen van maatschappelijke vraagstukken. Ook ethische en filosofische aspecten komen aan de orde. Dit leidt tot inzichten waarmee maatschappelijke vraagstukken en problemen benaderd kunnen worden.”*

Voor leerlingen uit het natuurprofiel geldt dat de inhoud van dit vak natuurkennis, dat een redelijk grote omvang is toegedacht, zou moeten indalen in de natuurwetenschappelijke vakken.

In dit advies herkennen we een paar opmerkelijke modieuze zaken. Naar mijn oordeel komt dit natuurvak neer op een soort qua omvang en diepgang uitgebreid ANW, de domeinen van ANW komen terug als contexten, echter met meer nadruk op natuurwetenschap-brede basisconcepten. Daarnaast moet het vak worden aangeboden in de vorm van modules, waarschijnlijk om de keuzevrijheid voor leerlingen en docenten te behouden. Ofwel, in dit voorstel komen we dezelfde elementen tegen, de concept-contextbenadering en een module-structuur, als in de toentertijd actuele voorstellen voor de vernieuwing van de mono-vakken en in dat voor het nieuwe vak NLT. Dit betekent dus dat α/γ -leerlingen in dit voorstel in feite opnieuw behandeld worden als kleine bètaatjes, en dat lijkt me gewoon een verkeerde aanpak. Ook voor het natuurvak zou ik vast willen houden aan mijn eigen voorstel, met dien verstande dat de ruimere beschikbare tijd, de geschetste lijn misschien pas echt tot zijn recht zou kunnen laten komen. De door PISA en/of Osborne (zie hierboven) geschetste ‘scientific literacy’ onderschat gemakkelijk hoe moeilijk het in feite is om natuurwetenschappelijke kennis echt toe te passen in leefwereldsituaties of te gebruiken bij debatten over ‘science-related issues’, zoals verwacht wordt van de geletterde consument of burger. Op het niveau van het voorgestelde natuurvak moet je die nadruk op basisconcepten dus helemaal niet willen en moet je je doelen en didactiek op die categorie leerlingen afstemmen waarvoor het ook bedoeld is. Dat vak zou dus ook juist *niet* moeten indalen in het natuurwetenschappelijk onderwijs in het (de) natuurprofiel(en), omdat dat laatste een heel ander karakter heeft en ook zou moeten hebben. Laten we daarom

⁸⁵ Deze Profielcommissies hebben geadviseerd over te gaan op twee profielen, een maatschappijprofiel en een natuurprofiel. De verantwoordelijke staatssecretaris heeft dit advies overigens direct afgewezen.

daar nu verder op ingaan, door terug te keren naar de laatste inhoudelijke vernieuwingsvoorstellen voor het natuurkundeonderwijs. Maar niet voordat we kort nog even aandacht besteden aan de nieuwste, en waarschijnlijk laatste, ontwikkeling met betrekking tot ANW.

3.3 Het einde?

En dan, in maart 2012 schrijft de minister een brief aan de Tweede Kamer⁸⁶, waarin zij haar voornemen mededeelt om ook voor het VWO het vak ANW niet langer verplicht te stellen. Evenals trouwens Culturele en Kunstzinnige Vorming, waarmee twee ‘pareltjes’ van de Tweede Fase, waarin veel is geïnvesteerd, dan voorgoed de nek zijn omgedraaid. Voortschrijdend inzicht, heet dat tegenwoordig, en in tijden van crisis, waarin conservatieve groepen als Beter Onderwijs Nederland hoogtijdagen doormaken, is het duidelijk waartoe dat leidt. Focus op de kern, en alle franje weg!

“In het bovenbouwprogramma van de HAVO is het vak ANW (Algemene Natuurwetenschappen) onderdeel van het vrije deel van het profiel, in het bovenbouwprogramma van het VWO onderdeel van het verplichte gemeenschappelijke deel. Het cijfer voor ANW telt mee in het zogeheten combinatiecijfer. Als ANW ook in het VWO-programma onderdeel uitmaakt van het ‘geheel vrije’ deel is het aan de scholen om dit al dan niet aan te bieden: zij kunnen het vak blijven aanbieden, maar het is dan niet wettelijk voorgeschreven. Dit heeft geen gevolgen voor de doorstroom naar het hoger onderwijs: leerlingen met een maatschappijprofiel hebben het voor hun vervolgopleiding niet nodig, terwijl leerlingen met een natuurprofiel in de verplichte profielvakken al voldoende worden toegerust.

Naast deze uitbreiding van de ruimte om het curriculum in te vullen, is een (positief) neveneffect van het niet meer mee laten tellen van ANW in het combinatiecijfer dat het relatieve gewicht van de andere vakken die het combinatiecijfer bepalen (in het bijzonder maatschappijleer en het profielwerkstuk) toeneemt. Door ANW niet meer te verplichten op het VWO wil ik scholen de ruimte bieden om te focussen op kernvakken en hun organiseerbaarheid te verbeteren.” Aldus de minister, met als vervolg: *“In de veldraadpleging hebben verschillende organisaties er op gewezen dat er de afgelopen tijd is geïnvesteerd in de ontwikkeling van het vak ANW: er is tijd, energie en geld in gestoken. Toch is er begrip voor dit vak in het VWO – net zoals dit op de HAVO al is gebeurd – niet meer verplicht te stellen, zeker niet meer voor de natuurprofielen. Dit biedt zowel scholen als leerlingen meer ruimte. De optie voor scholen om het vak aan te bieden moet volgens de gesprekspartners wel open gehouden worden.”* En dus spreekt de minister het beleidsvoornemen uit om geen verandering aan te brengen in de profielstructuur, maar om, naast andere zaken, ANW over te brengen naar de vrije ruimte. Inmiddels is dit voornemen geconcretiseerd in een voorstel tot wetswijziging.

De NVON, de Nederlandse Vereniging voor het Onderwijs in de Natuurwetenschap-

⁸⁶ www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/voortgezet-onderwijs/documenten-en-publicaties/kamerstukken/2012/03/02/kamerbrief-over-het-kabinetstandpunt-profielen-havo-vwo.html

Deze reactie is een bijdrage aan de internetconsultatie van het ministerie met betrekking tot dit wetsontwerp. Het is frappant te zien hoe veel instanties en personen gereageerd hebben op het voornemen om CKV niet meer verplicht te stellen, en hoe weinig op het voornemen hetzelfde te doen voor ANW. Zo bleek in het programma ‘Buitenhof’ (van 16-12-2012) de nieuwe minister zeer gevoelig te zijn voor deze CKV-reacties. Maar de term ANW werd daarin niet eens genoemd!

Ontwikkelingen in natuurkundeonderwijs

pen, heeft daarop een reactie⁸⁷ geformuleerd, die zeer de moeite waard is om, in het kader van het hoofdthema van dit hoofdstuk (wat is en wil ANW), hier uitgebreid geciteerd te worden.

“(...) In onze reactie geven wij commentaar op de uitgangspunten van deze wetswijziging en schetsen wij voorts de gevolgen van de voorgenomen afschaffing van ANW als verplicht examenvak op het VWO.

Wellicht is het van belang kort aan te geven wat het vak ANW inhoudt en hoe het zich onderscheidt van de zgn. monovakken: schei-, natuurkunde en biologie.

ANW is een vak dat

- in tegenstelling tot de monovakken behoort tot het gemeenschappelijke deel en derhalve verplicht is voor alle leerlingen van de Natuur- en Maatschappijprofielen.*
- aan leerlingen duidelijk wil maken wat de betekenis van de natuurwetenschappen is voor de maatschappij.*
- zich richt op de bewustwording bij leerlingen van de gevaren en de mogelijkheden van (de toepassing van) natuurwetenschappelijk onderzoek, zodat zij als wereldburgers weloverwogen beslissingen kunnen nemen.*
- systematisch werkt vanuit de vragen: a. hoe komt de kennis tot stand? b. hoe weet je wat waar is? c. hoe wordt de kennis toegepast? d. mag alles wat kan?*
- wordt gegeven door docenten met een eerstegraads bevoegdheid in een natuurwetenschap, die additioneel geschoold zijn in, voor ANW adequate, didactische werkvormen.*

Het Natuurprofiel

De Memorie van Toelichting verschaft uitleg over de afschaffing van ANW: “De leerlingen in de Natuurprofielen (NG en NT) hebben al voldoende natuurwetenschappelijke vakken”. Uit het voorgaande blijkt echter dat ANW niet tot de normale natuurwetenschappen kan worden gerekend. Het is geen natuurwetenschap, het gaat over natuurwetenschap. Als de monovakken zich, volgens de metafoor, op het toneel afspreken, observeert en analyseert ANW het spel en onderzoekt de reactie van het publiek.

Ook al is er in de nieuwe examenprogramma's voor de monovakken vanaf 2013 meer aandacht voor de context waarin natuurwetenschappelijke kennis functioneert, er is te weinig tijd en expertise om de maatschappelijke consequenties van deze kennis te overzien. De focus ligt daar op de vakinhoud. Voor de N-leerling geldt bovendien nog de urgentie van ANW vanwege de mogelijke toekomstige rol als wetenschapper/ster of technicus/ca. Bij het onderwijs in dit vak worden geregeld lesvormen gebruikt die tot doel hebben de maatschappelijke betrokkenheid te verhogen (zgn. “affectieve doelen”).

Over de situatie op de HAVO schetst de Memorie het volgende: “Sinds 2007 is het vak ANW niet meer verplicht in het gemeenschappelijk deel van het HAVO bovenbouwprogramma. Wel is er naar gestreefd de inhoudelijke kern van het vak op andere wijze dan in een afzonderlijk verplicht vak ook in het HAVO te behouden, namelijk door deze kern onder te brengen bij andere vakken”. Ook al betreuren wij dit besluit zeer, er is wel enige ruimte (40 sln) in het examenprogramma gecreëerd bij de monovakken, om de ANW-doelstellingen “in te laten dalen”. Deze ruimte is er niet in de nieuw geformuleerde examenprogramma's voor het VWO. Het gevolg is nu dat de HAVO-leerling wel enige kennis heeft van de dilemma's die door de toepassing van de natuurwetenschappen ontstaan en de VWO-leerling niet. Hoe is dit te rijmen met de toekomstige rol van de VWO-leerling als wetenschapper? Het is ook helemaal niet gegarandeerd dat in het vervolgonderwijs de benadering van deze maatschappelijke vraagstukken wel aan de orde komt.

Het Maatschappijprofiel

De memorie van toelichting meldt over het maatschappijprofiel het volgende: “Voor de leerlingen in de

⁸⁷ www.nvon.nl/nieuws/alle_nieuws/brief_van_de_nvon_aan_de_staatssecretaris_van_ocw_inzake_wijzigingsvoorstel_wet_bovenbouw_havovwo (december 2012).

Maatschappijprofielen (EM en CM) voegt het vak enige algemene kennis van de natuurwetenschap toe. Deze kennis kan evenwel ook in de onderbouw een plek in het curriculum vinden door versterking van de kennisbasis voor de vakken natuurkunde, scheikunde en biologie”. Ook hier geldt: *het gaat niet alleen om “enige algemene kennis” van de natuurwetenschappen, maar om het bewust leren hanteren van de dilemma’s die door de natuurwetenschappen zijn ontstaan op het gebied van DNA-technologie, donorschap, vaccinatie, voortplantingstechnologie, consumentengedrag, klimaatproblematiek, etc. Daarvoor zijn specifieke kennis en vaardigheden nodig, die in het vak ANW worden aangereikt. Verder vermeldt de Memorie het volgende argument: “In de onderbouw treedt een beweging op van versterking van de natuurwetenschappelijke kennis, voor alle HAVO- en VWO-leerlingen. Er wordt een stevige kennisbasis geformuleerd voor de natuurwetenschappelijke vakken natuurkunde, scheikunde en biologie. De kennis van science zal daardoor toenemen in de onderbouw. In de bovenbouw wordt ANW hierdoor ‘overcompleet’”. Van de veronderstelde beweging van de versterking van de vakken in de onderbouw is in de praktijk niets gebleken. De keuze voor het N-profiel is dan ook niet toegenomen. Formuleren van doelstellingen is iets anders dan onderzoeken of de doelstellingen worden gehaald, er is immers geen centrale toetsing aan het eind van de onderbouw. Het lijkt meer een wens dan een realiteit. Voor M-leerlingen is klas 2 of 3 eindonderwijs en door dit onderwijs is er niet voldoende kennis van science om de maatschappelijke dilemma’s te kunnen bevatten. Soms is er zelfs enige aversie ontstaan jegens de natuurwetenschappelijke vakken vanwege het, noodgedwongen, selecterende karakter ervan.*

Het vrije deel

De Memorie vermeldt: “Algemene natuurwetenschappen (ANW) als verplicht examenvak in het VWO-programma schrappen. Het examenvak ANW wordt uit het gemeenschappelijke deel van de VWO-profielen geschrapt”. Dan zou ANW ondergebracht worden in het vrije deel. Het zal duidelijk zijn dat de doelstellingen van het vak: de maatschappelijke toerusting voor iedereen, zo niet gehaald kunnen worden. In het vrije deel horen vakken die iets extra’s bieden, die tot verbreding of verdieping kunnen leiden, zoals bijv. NLT. ANW hoort daarentegen een verplicht schoolexamenvak te zijn in de bovenbouw, dus voor alle leerlingen.

Aandacht voor de kernvakken

De memorie van toelichting: “Het doel van dit wetsvoorstel is om scholen meer ruimte te bieden in de profielen HAVO en VWO om meer aandacht te kunnen besteden aan de kernvakken. Door scholen extra ruimte te bieden, kunnen scholen zelf beter bepalen op welke wijze zij de prestaties van leerlingen op de kernvakken kunnen verbeteren en zodoende de aansluiting met het hoger onderwijs en wetenschappelijk onderwijs waarborgen”. Onvermeld is hier dat één van de drijfveren tot het versterken van taal- en rekenonderwijs ongetwijfeld is, dat de resultaten van de Nederlandse leerlingen in het PISA-onderzoek zijn tegengevallen. Versterking van taal- en rekenonderwijs is nodig, doch hoeft zeker niet ten koste te gaan van CKV en ANW. Meer aandacht voor taal- en rekenvaardigheden bij de reguliere vakken zal effect hebben, als men die bewust traint. Op een aantal scholen wordt dit al gerealiseerd. Deze vaardigheden zijn immers jarenlang enigszins veronachtzaamd. Dan zal ook de aansluiting bij het vervolgonderwijs worden gewaarborgd. Schrappen van ANW zal bovendien een negatief gevolg hebben. De PISA-scores zullen verder dalen omdat in toenemende mate sciencegerelateerde vragen zullen worden opgenomen. (...)

Resumerend

ANW is een onmisbaar vak voor alle leerlingen (M+N) op het VWO om goed toegerust te zijn voor het leven, waarin ze steeds meer geconfronteerd zullen worden met mogelijkheden en gevaren van de toepassing van de natuurwetenschappen in de samenleving. De gevolgen van afschaffing zullen dus desastreus zijn: beslissingen op persoonlijk en publiek terrein zullen, door gebrek aan kennis, genomen worden volgens de

Ontwikkelingen in natuurkundeonderwijs

beersende hypes, zonder dat men de gevolgen kan overzien. Verder zullen de scores bij het PISA-onderzoek dalen.”

Tot zover de NVON-reactie die, eerlijk gezegd, mijns inziens, inhoudelijk van een minimaal niveau is, net zoals overigens de argumentatie van de minister. Ieder kon op zijn klompen aanvoelen dat dit er aan zat te komen. Als zo'n maatregel eenmaal genomen is voor het HAVO, dan is die voor het VWO nog slechts een kwestie van tijd. Voor als zich weer een probleem voordoet, waarvoor ministeriële 'daadkracht' nodig is. En er is dan ook geen enkel argument meer, waarmee je dat nog kunt tegenhouden. Als op het HAVO compensatie gevonden kan worden in de mono-vakken, dan kan dat immers zeker op het VWO? Als ANW onmisbaar is voor leerlingen op het VWO, dan is het dat zeker voor leerlingen op het HAVO. En dus ook omgekeerd, als je het voor het HAVO afschaft, kan dat zeker voor het VWO. Het kan toch niet zo zijn dat onze toekomstige wetenschappers later niet in staat zullen zijn tot verantwoorde beslissingen, omdat ze op het VWO geen ANW hebben gehad? Hoe zit het dan met al die wetenschappers die zijn opgeleid toen ANW nog niet bestond?

Hoe dan ook, het is uitermate jammer dat op deze manier een belangrijke vernieuwing weer teniet wordt gedaan. Had de NVON van deze 'threat' niet een 'opportunity' kunnen maken, door niet bovenstaand onmogelijk standpunt in te nemen, maar zich juist te richten op het behoud van ANW voor de C&M-profielen? Immers, daarvoor zijn wel goede argumenten aan te voeren, ook al was de kans op succes zelfs dan klein geweest. Nu kunnen we alleen nog afwachten of en hoe ANW-doelen (alsnog) kunnen 'indalen' in de NINA-vernieuwing. (Maar dan zijn we de α - en γ -leerlingen al kwijt!)

4 De discussies van vandaag: over NINA en de CCB

4.0 Doel

Het doel van dit hoofdstuk is het nieuwe natuurkundeprogramma van NINA inhoudelijk te beschrijven en te bediscussieren. Daartoe worden eerst enkele min of meer gelijksoortige Engelse en Duitse projecten beschreven. Ook wordt uitgebreid ingegaan op de inhoud en uitkomsten van het PLON. Dit alles om de voor- en nadelen van een context-conceptbenadering zo goed mogelijk te bespreken. Daarmee heb ik de oorspronkelijk door NINA opgeschreven plannen kennelijk serieuzer genomen dan op grond van de uiteindelijke uitwerking nodig was geweest. Het zij zo!

4.1 Buitenlandse invloeden

4.1.1 Twenty First Century Science

Dit hoofdstuk wil ik beginnen met een paar projecten te beschrijven die, naar mijn idee, van grote invloed zijn geweest op de voorstellen van NINA. Om te beginnen een 'York-project'. De Science Education Group van York University ontwikkelde het 'Twenty First Century Science', bedoeld voor 14-16 jarige leerlingen. Het is leerzaam hier even preciezer naar te kijken. De kern van deze cursus richt zich namelijk helemaal op het verwezenlijken van 'scientific literacy', zoals eerder geciteerd en gedefinieerd door PISA, maar is tegelijk, in overeenstemming met die definitie en in afwijking van ANW, wel een echte gewone science-cursus⁸⁸. De projectontwikkelaars motiveren een en ander als volgt: *"Most people are unlikely ever to be producers of new scientific knowledge. But we all need to be informed users and consumers of scientific knowledge, whether or not we use science in our work. For this, we need to have some understanding of two quite distinct kinds of thing:*

- *Ideas about science;*
- *Science explanations.*

Knowledge of these ideas and explanations underpins our definition of scientific literacy."

Over de 'Ideas about Science' (figuur 18) zeggen de ontwikkelaars vervolgens: *"People need more than an understanding of the major science explanations if they are to be informed consumers of scientific knowledge. They also need to be able to reflect on scientific knowledge itself, including:*

- *the practices that have produced it;*
- *the kinds of reasoning that are used in developing a scientific argument, and on the issues that arise when scientific knowledge is put to practical use."*

⁸⁸ De hele cursus bestaat uit twee gelijke delen. Een deel 'core science', gericht op scientific literacy, dat verplicht is voor alle leerlingen, en een keuzedeel 'additional science' gericht op 'echte' vakkennis. Voor dit keuzedeel kunnen de leerlingen kiezen uit een 'pure science' en een 'applied science' deel. Op deze manier is in de hele cursus de spanning tussen de verschillende doelen opgelost.

1. Data and their limitations

Awareness that all observations and measurements are subject to uncertainty; how to use the mean and the spread of a data-set to assess its trustworthiness.

2. Correlation and cause

Thinking about phenomena in terms of factors (or variables) that are associated with a change in outcome, or a change in the probability of an outcome; how a claim that a factor affects an outcome can be tested; awareness that correlation does not necessarily indicate cause.

3. Developing explanations

Distinguishing data from possible explanations; awareness of role of imagination in devising explanations; testing explanations by comparing predictions with data

4. The scientific community

Awareness of the role and importance of peer review, and of replicability of findings; recognition of legitimacy of disagreement about data and explanation, and the possibility of external (non-scientific) influences on this.

5. Risk

Awareness that all activities and processes carry some risk, that risks can be assessed and compared, and of the need to balance chance of occurrence and scale of consequences in taking decisions

6. Making decisions about science and technology

Recognition of the benefits of science-based technology, and also of the possibility of unwanted consequences. Ability to identify obvious costs and benefits of a new development, to separate the issue of feasibility (can it be done) from that of values (should it be done), and to discuss rationally issues with an ethical dimension.

Figuur 18. Ideas about science. Uit: Millar, 2006⁷⁹.

Chemicals (the idea of a “substance”)

Chemical change (the atomic/molecular model)

Materials and their properties (linking structure and function)

The interdependence of living things

The chemical cycles of life

Cells as the basic units of living things

Maintenance of life

The gene theory of inheritance

The theory of evolution by natural selection

The germ theory of disease

Energy sources and use

The idea of radiation

Radioactivity

The structure and evolution of the Earth

The structure of the Solar System

The structure and evolution of the Universe

Figuur 19. Science explanations. Uit: Millar, 2006⁷⁹.

En ten slotte over de ‘Science Explanations’ (figuur 19): “No one can be said to be ‘scientifically literate’ unless they understand some science. But what matters is to have a broad understanding of the main scientific explanations that give us a framework for making sense of the world around us. We want people to understand these major science explanations and be able to apply them. We do not want them to get bogged down in intricate detail. We avoid introducing so much complexity that many simply switch off.”

Wat opvalt is de grote nadruk op chemische en biologische verklaringen en het relatief geringe aandeel van gebruikelijke natuurkunde. Uiteindelijk zijn hun keuzen geconcre-

tiseerd in een negental modulen, te weten: 1) You and your genes, 2) Air quality, 3) Earth in Universe, 4) Keeping healthy, 5) Material choices, 6) Radiation and life, 7) Life on Earth, 8) Food matters, and 9) Radioactive materials. Daarin herkennen we inderdaad direct de belangrijke ‘verklaringen’, terwijl de ‘ideeën’ meer interpretatief terug te vinden zijn. Het lijkt dus alsof hier sprake is van een contextbenadering, en dat is ook zo. Het nieuwe is echter dat het niet zozeer lijkt te gaan om een *concepten-in-context* benadering (zoals bij NINA), maar eerder om een *explanations-and-ideas-in-context* benadering. En dat zou dan kenmerkend kunnen zijn voor een heroriëntering die zich ook breder in Engeland lijkt te voltrekken (zie hieronder), volgens de eerder geciteerde nieuwe visie. Ten slotte zouden we nog wel de vraag kunnen stellen in hoeverre de leerlingen, binnen dit project, inderdaad steeds kunnen weten waar de trein waarop ze meerijden nu eigenlijk naar toe gaat. Voor de docenten blijkt het in ieder geval nodig, net als bij ‘onze’ ANW, om eerst enkele jaren ervaring op te doen alvorens deze nieuwe aanpak enigszins tot zijn recht kan komen.

4.1.2 Advancing Physics

Het Engelse ‘Advancing Physics’⁸⁹ is alleen al interessant omdat dit door het Institute of Physics (de Engelse NNV) is geïnitieerd en gepubliceerd, met ruwweg dezelfde motieven als waarom de NNV aan de wieg heeft gestaan van NINA. Maar daarnaast is het gewoon qua uitvoering en inhoud zeer de moeite waard. Het project richt zich op 16+ leerlingen van het Engelse Advanced Level. Daarmee wil het voorbereidend zijn voor een wetenschappelijke opleiding en is het niet gericht op scientific literacy als hoofd-doel. Dit betekent dat de eerder genoemde curriculumspanning vanwege verschillende doelen, is opgelost door verschillende cursussen te ontwerpen voor verschillende categorieën leerlingen. De ‘core aims’ van de cursus zijn als volgt geformuleerd:

- *“Makes physics exciting and relevant;*
- *is contemporary in content and modes of delivery;*
- *is attractive and accessible to the widest possible variety of students;*
- *sets physics in a variety of contexts, illustrating connections with everyday life, people, places and cultures;*
- *rewards students for initiative and commitment and allows them to develop their own interests;*
- *fully supports and recognizes the use of essential mathematical methods in physics, helping students to understand them;*
- *fully supports teachers using extensive tried and tested resources and ongoing support.”*

De cursus beslaat twee jaar en is opgedeeld in twee delen (de AS course en de A2 course). In figuur 20 is kort de inhoud van de hele cursus weergegeven. Het in dit project ontwikkelde curriculummateriaal is een schoolvoorbeeld van creatieve en innovatieve onderwijsontwikkeling. De aanpak lijkt er inderdaad in te slagen om het natuurkundeonderwijs op dit niveau inhoudelijk te ‘updaten’, maar daarnaast worden er ook heel innovatieve didactische ideeën in uitgewerkt. Zo staat in de introductie van de student’s books onder andere het volgende (het citaat is uit het A2 book): *“This*

⁸⁹ J. Ogborn & M. Whitehouse (Eds.). *Advancing Physics*. Bristol: IOP.

Ontwikkelingen in natuurkundeonderwijs

Student's book is written as a series of narratives, each telling a story about the physics involved from a particular point of view. Sometimes the point of view is physics in use, for example in space travel, in archaeological dating, in navigation, in electrical power generation, and in medicine and radiology. Sometimes the point of view is human and historical: how people had ideas, and what impact the ideas have had on human culture. Sometimes the point of view is new ideas themselves: how they fit together to make a satisfying structure which nevertheless challenges everyday common sense thinking. We recognise that peoples' interests vary widely; this is why the book tells its stories from different points of view."

AS (advanced subsidiary) course content	A2 course content
PHYSICS IN ACTION <i>Communication</i>	RISE AND FALL OF THE CLOCKWORK UNIVERSE <i>Models and rules</i>
1. Imaging	10. Creating Models
2. Sensing	11. Out into Space
3. Signalling	12. Our Place in the Universe
<i>Designer Materials</i>	<i>Matter in Extremes</i>
4. Testing Materials	13. Matter: Very Simple
5. Looking inside Materials	14. Matter: Very Hot and Cold
UNDERSTANDING PROCESSES <i>Waves and Quantum Behaviour</i>	FIELD AND PARTICLE PICTURES <i>Fields</i>
6. Wave Behaviour	15. Electromagnetic Machines
7. Quantum Behaviour	16. Charge and Fields
<i>Space and Time</i>	<i>Fundamental Particles of Matter</i>
8. Mapping Space and Time	17. Probing Deep into Matter
9. Computing the Next Move	18. Ionising Radiation and Risk
<i>Case Studies: Quality of Measurement</i>	<i>Case Studies: Advances in Physics</i>

Figuur 20. De inhoud van 'Advancing Physics'.

Deze nadruk op 'narratives' is sterk afwijkend van de sterke nadruk op 'concepten leren', zoals die de laatste decennia gebruikelijk was. Het was één van de punten in Osborne's hierboven geciteerde 'new vision'. Of, zoals Ogborn het omschrijft: "*The students have a specially written text book, full of visual appeal and telling physics as an engaging story. There is plenty of 'hard physics' in it, and all the relevant mathematics, often presented visually. But the narrative – about ideas, about discoveries and inventions as they happened, about the people involved, about human purposes and consequences – holds it all together and creates interest.*"⁹⁰ Hierdoor lijkt er veel minder aandacht te liggen op het leren van algemene begrippen

⁹⁰ In principe heeft deze aanpak veel overeenkomst met die van het vroegere Harvard Project Physics. Ook in dit opzicht lijkt er dus eerder sprake van een cyclische herhaling dan van radicaal nieuwe ideeën.

7 Quantum behaviour

$f = E/h$, with speed c for the photon. A handy model of this is a 'trundle wheel' that you roll along each path.

You will notice that there is something special about the paths near the one where the angle of reflection is equal to the angle of incidence. Phasors for these paths differ little in phase at the detector, and so they more or less line up. But phasors going by other 'wrong' paths differ a lot in phase from nearby ones, so when placed tip to tail tend to curl up. The 'lined up' phasors give a big resultant; the 'curled up' phasors contribute little to the resultant.

This gives a new story about light, which turns what you have learned before on its head. You probably learned the 'law of reflection'; quantum behaviour provides an explanation of that law. The rule of quantum behaviour sends photons every-

where, not just along one special path. But the special 'equal angled' path obeying the law of reflection is in fact picked out by the quantum rule for combining phasors from every possible path. This special path and ones very close to it are the only ones for which the phasors line up rather than curl up. Most of the probability of photons arriving at the detector comes from paths fitting closely to the law of reflection. The rules of quantum behaviour predict the law of reflection.

Least time; flat valley bottoms

The paths near where the trip times are equal and the phasors line up are also the *shortest* paths; the ones with the smallest trip time. A graph of trip time has a minimum—it forms a valley. And a valley is flat at the bottom. That is, if the trip time is a minimum, changing the path a little hardly changes the time. Result: the phasors from these paths line up.

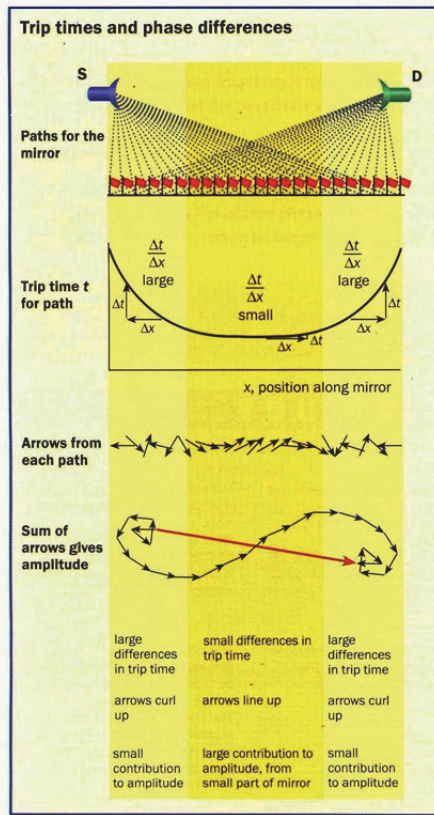
Quantum behaviour explains reflection and Fermat's least-time principle (pages 143–144), all in one go.

Refraction: going faster, going slower

Chapter 6 shows how Huygens explained refraction, as due to waves slowing down in water or glass. The photon story keeps the slowing down, but once again says to a photon, 'try all paths'. Because of the difference in speed, trip time is now important.

The photons do not sit down beforehand and work out what to do. As usual, they just try everything. But on the paths near the one of shortest time, the phase differences between paths are all small and so the phasors for these paths line up. Paths around those further from the least-time path have big phase differences between them, and the sets of phasors from these curl up when added in. So once again, the anarchic-seeming but actually strict rules of quantum behaviour predict a definite law: most of the probability for photons arriving comes from paths close to the refracted path which obeys Snell's law.

So Snell's law of refraction is also a consequence of the quantum behaviour of photons.



- How exploring paths leads to arrows
- Calculating for a mirror on the screen
- Least time and refraction

Figuur 21. Een pagina uit 'Advancing Physics' (AS).

als doel op zich; alsof het leren van natuurkunde zou gelijk staan met het kennen van een aantal begrippen en de verbindende regels daartussen. Ogborn beargumenteert deze heroriëntatie als volgt: “*A traditional view of the learning of science is to see scientific knowledge as a clear-cut, explicit and ‘logical’ account of how things are, so that teaching science is essentially a matter of laying out definitions, facts and their consequences with the greatest possible clarity. (...) Learning is understood as a process of the learner becoming rationally convinced, by the power of a logical system of thought. This leads to a curriculum planned around “central concepts” and the logical relations between them.*

I argue that it would be better to construct the science curriculum around “stories that science has to tell about how things are. (...) Another way to put the point is to say that the building blocks of the curriculum – of what goes on in the classroom – ought to be scientific explanations.”

Terugkerend naar de inhoud van ‘Advancing Physics’ valt op grond van de titels van de units te concluderen dat natuurkundige kernthema’s, ook in bredere technologische zin opgevat, een belangrijk uitgangspunt zijn geweest, waar op een inspirerende manier mee is omgegaan. Ik zou het daarom opnieuw eerder karakteriseren als een ‘explanation-led’ dan als een ‘context-led’ aanpak. Te meer daar, zoals Ogborn schrijft: “*Physics is fortunate in having more than one innovative and well thought-through initiative to be ready for these new and challenging demands. The Salters-Horners course, capitalises on students’ interests in real-life uses of science, teaching concepts in physics through a variety of applications.*”

4.1.3 Salters-Horners Advanced Physics course

Daarmee verwijst hij naar de ‘Salters-Horners Advanced Physics course’⁹¹ die door de ontwikkelaars zelf, met York University als thuisbasis, als ‘context-led’ wordt gekarakteriseerd. De titels van de units uit figuur 22 mogen dit illustreren. Opvallend hierbij is dat er geen overkoepelende thema’s worden genoemd, die een verbinding zouden kunnen en moeten geven tussen de respectievelijke modules. Op grond van de titels lijkt zo’n verbinding ook niet te bestaan.

AS course content

The Sound of Music
Technology in Space
Higher Faster Stronger
Good enough to eat
Digging up the past
Spare Part Surgery

A2 course content

Transport on Track
The Medium is the Message
Probing the Heart of the Matter
Reach for the Stars
Build or Bust

Figuur 22. De titels van de units in de ‘Salters-Horners Advanced Physics Course’.

4.1.4 Physik im Kontext

En dan is er ook nog het Duitse project ‘Physik im Kontext’⁹². Zoals zal blijken is dat,

⁹¹ Science Education Group York University (2000). *Salters-Horners Advanced Physics*. Oxford: Heinemann.

⁹² R. Duit & S. Mikelskis-Seifert (Hrsg.) (2010). *Physik im Kontext*. Seelze: Friedrich Verlag.

qua inhoud, misschien nog wel het best te vergelijken met de huidige ontwikkelingen in ons land. *“Ein Schwerpunkt liegt auf der Förderung der naturwissenschaftlichen Grundbildung („Scientific Literacy“) von Schülern. Dazu gehört eine Aufgeschlossenheit für und eine grundlegende Vertrautheit mit naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen ebenso wie eine Einsicht in die Rolle der modernen Physik und modernen Technologien. Mit der Einbettung neuer Inhalte in die Kontexte Alltag, Gesellschaft und Technik sollen dabei Bezüge zur Lebenswelt der Schüler geschaffen werden. Anwendungskontexte sollen den Zugang zum Fach ebenso erleichtern wie auch den Transfer des Gelernten auf Alltagsprobleme und -fragenstellungen.”*

De door hen gekozen contexten worden zo wel heel ruim omschreven. Het gaat dus niet zozeer om welke context, als er maar een context is, en de verwachtingen daarvan zijn hoog. Die worden mede ingegeven door de nagestreefde vernieuwing van de leeromgeving: *“Es werden neue Lernumgebungen entworfen und erprobt, um die Monokultur des fragend-entwickelnden Unterrichts zu vermeiden. Sie unterstützen das Lernen von Physik nachhaltig und regen zum physikalischen Denken an, indem Schüler lernen,*

- *mit naturwissenschaftlichen Basiskonzepten kompetent umzugehen,*
- *zu experimentieren und zu modellieren und*
- *erworbenes Wissen auf Situationen des Alltags und der Technik anzuwenden.”*

Ofwel, er wordt een gevarieerde leeromgeving nagestreefd, dus met een scala aan leervormen en leeractiviteiten, maar de inhoudelijke nadruk ligt wel op de basisconcepten van de natuurkunde, alsmede op het natuurkundig kunnen handelen en denken. Zij vatten hun meervoudige nadruk op context als volgt samen:

“1. Als thematische Kontexte sollen lebensweltliche Fragestellungen aus Alltag, Technik und Gesellschaft verstärkt in den Unterricht integriert werden.

2. Der Kontext Lernumgebung soll mehr sein als ein passiver Material- und Angebotslieferant, sondern in der Rolle eines aktiven Entwicklungshelfers das eigenständige Denken, Arbeiten und Reflektieren fördern.

3. Außerschulische Kontexte verstärken die Lebensweltnähe schulischen Lernens. Mit authentischen Erfahrungen aus Forschung und Arbeitswelt erhalten die Schüler Orientierungshilfen für mögliche Tätigkeiten und berufliche Perspektiven. Naturwissenschaftliche Grundbildung sollte als wesentlichen Bestandteil Einsicht in die grundlegenden Denk- und Vorgehensweisen moderner Physik und in die Rolle moderner Technologien integrieren. Exemplarisch werden Unterrichtseinheiten entwickelt, die Themen moderner Physik aufbereiten, wie z.B. Nanoscience, Mikrosystemtechnik, Quantenphysik, komplexe Systeme, Physik und Leben sowie Physik und Umwelt. Dabei sind die Lernumgebungen so zu konzipieren, dass die Bedeutung moderner Physik für technologische Innovationen sowie die Entwicklung unseres Weltbildes erfahrbar wird.”

Het lijkt er dus op alsof ook dit project kiest voor een context-conceptbenadering, al kom ik deze term niet direct bij hen tegen, als belangrijke invalshoek voor een inhoudelijke vernieuwing van het natuurkundeonderwijs. In ieder geval hebben zij hoge verwachtingen van het gebruik van contexten, zelfs zo dat ik geneigd ben bij voorbaat, op grond van de PLON-ervaring uit het verleden (zie verder), te zeggen dat dat dus zeker niet haalbaar zal zijn.

Zij lijken daarbij twee doelen na te streven, enerzijds ‘naturwissenschaftlichen Grundbildung’ (scientific literacy) en anderzijds een grondige beheersing van de natuurkundige basisconcepten en werkwijzen. En dat laatste kan ik toch niet anders interpreteren dan als voorbereidend voor een wetenschappelijke opleiding. Uit de door dit pro-

ject gepubliceerde onderwijsmaterialen blijkt ook dat er een zeer zwaar accent is komen te liggen op een gedegen begripsontwikkeling in context. Maar de keuze van deze contexten is mijns inziens weinig vernieuwend. Van ‘narratives’ heb ik geen voorbeeld gezien. Ofwel, de curriculumspanning die in de Engelse projecten in ieder geval een belangrijk punt van aandacht is geweest en daarin tot op zekere hoogte lijkt te zijn opgelost, blijkt in dit project nog volop aanwezig. Dat maakt het interessant om te zien of NINA deze problematiek wel heeft onderkend en hoe zij daarmee is omgegaan.

4.2 De keuzen van NINA

4.2.1 De grote lijnen

Omdat, zoals eerder beschreven, in ons land de ontwikkeling van de komende jaren sterk bepaald zal worden door het werk van de recente commissie voor de vernieuwing van het natuurkundeonderwijs, is het zinvol om nu in meer detail in te gaan op de inhoudelijke keuzen van deze commissie⁹³. Daarbij gaat het er niet zozeer om het werk van deze commissie in detail te bekritisieren, als doel op zich, maar wel om te proberen hun gedachten, in het licht van al het voorgaande, op hun waarde te taxeren. Om daarmee, als overstijgend doel, tevens een beeld te geven van de complexiteit van de problematiek die zich aandient als het er om gaat een natuurkundeprogramma inhoudelijk meer dan oppervlakkig te willen veranderen en om die verandering ook nog grondig te willen verantwoorden.

“Het nieuwe schoolvak natuurkunde zal, samen met de andere natuurwetenschappelijke vakken en wiskunde, aan leerlingen in de profielen NT en NG van de Tweede Fase van HAVO en VWO een beeld moeten geven van:

- *de basisprincipes en begrippen van het natuurwetenschappelijk denken en de natuurwetenschappelijke methode, inclusief technisch ontwerpen;*
- *de opleidingen en beroepen waartoe de N-profielen toegang geven;*
- *de functie van natuurwetenschap en techniek in de hedendaagse maatschappij en de wisselwerking tussen onderzoek en toepassing.*

Omdat niet alle leerlingen in de N-profielen hun carrière zullen kiezen in wetenschap en techniek moet het profielvak natuurkunde zich richten op twee doelgroepen: op de toekomstige gespecialiseerde natuurwetenschappelijke en technische kenniswerkers en op de grotere groep van hoger opgeleiden voor wie natuurwetenschappelijke en technische kennis noodzakelijk is om te kunnen functioneren in de moderne kennismaatschappij. Gemeenschappelijk voor beide doelgroepen is dat leerlingen inzicht krijgen in de fysieke werkelijkheid om hen heen en de daarvoor noodzakelijke sleutelinzichten en vaardigheden tot ontwikkeling brengen. Het gaat met name om probleemoplossende vaardigheden zoals ontdekken, analyseren, interpreteren en toepasbaar maken van natuurverschijnselen. Deze vaardigheden moeten zich op een natuurlijke manier kunnen ontwikkelen vanuit verwondering en betrokkenheid.”

⁹³ Dit hoofdstuk is geschreven voordat het eindrapport van NINA was uitgebracht. Het gaat dus uit van de plannen zoals beschreven in het visiedocument ‘Natuurkunde Leef’ (2006). Maar als toevoeging zal ik aan het eind van dit hoofdstuk nog kort ingaan op het uiteindelijke NINA-advies (2010).

Aldus de geformuleerde doelstelling van het profielvak natuurkunde. Wat voor programma past nu bij deze doelstelling? Voor het ontwerp van hun nieuwe programma onderscheidt NINA verschillende categorieën volgens welke hun keuzen worden vormgegeven, en wel:

- de hoofddoelstellingen waaraan de programma's moeten bijdragen;
- de contexten die om verschillende redenen relevant zijn als uitgangspunten voor natuurkunde in het voortgezet onderwijs;
- de kernconcepten die de natuurkunde van deze tijd typeren en die relevant zijn voor het voortgezet onderwijs;
- de activiteiten die typerend zijn voor de beoefening van de natuurkunde.

Zoals al eerder gezegd sluiten zij daarmee, qua uitwerking, aan bij de keuze voor wat een context-conceptbenadering is gaan heten, een term die ik van nu af aan als CCB zal afkorten en waarop ik later dieper zal ingaan. Over deze CCB zegt NINA: *“In de context-conceptbenadering fungeren de contexten als brug tussen de (intuïtieve) begrippen en voorstellingen waar leerlingen al over beschikken en natuurwetenschappelijke concepten en de bijbehorende denk- en werkwijzen. Inzicht in verschijnselen, waarnemingen en ervaringen vindt plaats op het niveau van concepten; concepten vormen zo het kader voor de kennisopbouw van het vak. In de natuurkunde krijgen concepten een goed gedefinieerde formele betekenis in een theoretisch verband. Concepten worden geconsolideerd door terugkoppeling naar verschillende contexten.”*

De omschrijvingen van en de relaties tussen de door NINA gebruikte hoofdbegrippen, worden gegeven in figuur 23.

<i>Context</i>	<i>Een praktijk, situatie of probleemstelling die voor leerlingen betekenis heeft of krijgt door de uit te voeren leeractiviteiten.</i>
<i>Concept</i>	<i>Een idee of beeld met een algemeen karakter (bijvoorbeeld materie) dat kan zijn ontleend aan specifieke gebeurtenissen, dan wel een logisch verband legt tussen andere concepten.</i>
<i>Leeractiviteit (ook wel kortweg activiteit)</i>	<i>Een handeling waarbij voor een adequate uitvoering natuurkundige kennis is vereist, en waarin die kennis betekenis krijgt, c.q. waarin die betekenis versterkt wordt.</i>
<i>Context-conceptbenadering</i>	<i>Onderwijsmodel met als kern dat leerlingen duurzame concepten leren hanteren door contexten en activiteiten die hun een inhoudelijk motief geven voor het ontwikkelen van hun conceptuele kennis.</i>

Figuur 23. De centrale NINA-termen.

In de ‘nieuwe natuurkunde’ moeten leerlingen natuurkunde leren door natuurkunde te beoefenen, bijvoorbeeld door zelf te experimenteren, te voorspellen, te ontwerpen of te modelleren (figuur 24). Kortom, in een vorm van ontdekkend, c.q. actief, leren. Vervolgens wordt nader gespecificeerd wat voor soort contexten, die nu omschreven worden als ‘een situatie die gebruikt wordt om vakkennis te onderwijzen’, kunnen worden onderscheiden. Naar mijn mening horen de didactische contexten in figuur 25 niet thuis, omdat deze immers alleen middel zijn om de vakkennis in de andere contexten te onderwijzen.

Ontwikkelingen in natuurkundeonderwijs

<i>Actieve exploratie</i>	<i>Waarnemen, meten, experimenteren, berekenen, simuleren, modelleren, ontwerpen, rapporteren</i>
<i>Theoretische reflectie</i>	<i>Redeneren, reduceren, analyseren, ordenen, interpreteren, benaderen, schatten, hypothetiseren</i>

Figuur 24. Activiteiten die centraal staan in de natuurkunde volgens NINA.

<i>Leefwereldcontexten</i>	<i>Situaties die leerlingen uit hun dagelijks leven herkennen en die aansluiten bij hun belevingswereld.</i>
<i>Beroepscontexten</i>	<i>Situaties ontleend aan een maatschappelijke functie waarbij natuurkundige kennis wordt gebruikt om producten en diensten te leveren.</i>
<i>Toepassingsgerichte en technologische contexten</i>	<i>Situaties waarin de toepassingen van de natuurkunde in andere wetenschappen en de technologie centraal staan. Deze contexten en de daarmee geassocieerde handelingspraktijken zijn met name functioneel voor het HAVO onderwijs.</i>
<i>Onderzoekscontexten</i>	<i>Situaties die zijn verbonden met de wetenschappelijke disciplines waaruit de natuurwetenschappelijke schoolvakken zijn afgeleid. Zij zijn met name voor het VWO van belang. Doel is dat leerlingen een goed beeld krijgen van het huidige natuurkundige onderzoek. Deze contexten kunnen laten zien dat natuurkundig onderzoek spannend is en volop in beweging.</i>
<i>Didactische contexten</i>	<i>Situaties die vooral (gedachte)experimenten bevatten die geheel gericht zijn op de verheldering van natuurkundige begrippen en relaties. De golfbak is er een voorbeeld van, of een tralieproef met metingen en berekeningen.</i>

Figuur 25. Soorten contexten volgens NINA.

Vervolgens verschuift de aandacht naar de concepten. Deze worden omschreven als de breed toepasbare basis in het kennismodel, waarin onderscheid gemaakt wordt tussen kennis van procedures, kennis van verschijnselen die horen bij een context, en abstracte natuurkundige kennis die in één of meer concepten kan worden uitgedrukt. Als ik het goed begrijp wordt er dus onderscheid gemaakt tussen procedurele kennis, contextuele kennis en conceptuele kennis. Uiteraard zijn er heel veel van dit soort concepten, maar het examenprogramma moet hierin als vakinhoudelijke leidraad een verstandige keuze maken.

“Daaruit volgt dat de gekozen concepten, gezamenlijk de breedte van de leerstof goed moeten overdekken en in een verscheidenheid van contexten moeten kunnen worden aangeboden. Daarbij moet het aantal concepten niet te groot zijn, maar ze moeten ook weer niet te globaal zijn en daarmee onbruikbaar voor indeling van de leerstof. Criteria waaraan een concept voor de keuze in een examenprogramma moet voldoen zijn:

- *het moet een brede verklarende en/of organiserende functie hebben,*
- *het moet deel uitmaken van het essentiële vocabulaire van de natuurwetenschap,*
- *het moet een cruciale betekenis hebben in een breed scala van contexten in onderzoek en technische toepassing.*

Zulke concepten worden aangeduid als kernconcepten. Wij menen dat de natuurkunde getypeerd kan worden met de kernconcepten zoals hieronder weergegeven (figuur 26).

Deze kernbegrippen hebben een hoog abstractieniveau; zij zijn verbonden met veel andere begrippen, en spelen een rol in vrijwel alle theorieën en technische toepassingen van de natuurkunde.”

Het goede hieraan is dat geprobeerd wordt criteria te formuleren voor de opname van concepten in een examenprogramma. We zullen dat straks nader bekijken. Maar eerst zijn er nog de keuzen van ‘centrale ideeën’ en van contexten.

- *Wisselwerking*
- *Energie*
- *Materie*
- *Ruimte en tijd*

Figuur 26. NINA's kernconcepten die de natuurkunde typeren.

- *Natuurkunde verklaart en voorspelt natuurlijke verschijnselen*
- *Natuurkundige kennis wordt voortdurend proefondervindelijk getoetst*
- *Op en buiten de aarde geldt dezelfde natuurkunde*
- *Natuurkunde beschrijft ook processen in levende organismen*
- *De microwereld bestaat uit deeltjes (moleculen/ atomen/ elementaire deeltjes)*
- *Eigenschappen op macroschaal kunnen op microschaal begrepen en beïnvloed worden*
- *Het heelal ontstond tijdens de oerkeren en dijt steeds verder uit*
- *De kracht van de natuurkunde ligt in vereenvoudiging*
- *Natuurkunde en technologie zijn met elkaar verstrengeld*
- *Energie is behouden*

Figuur 27. Voorbeelden van centrale ideeën.

“De belangrijkste ambitie van het natuurwetenschappelijk onderwijs is dat iedere leerling inzicht ontwikkelt in het wetenschappelijk proces. (...) De benadering (...) waarin de concepten een leidraad voor de lesstof zijn, biedt nog onvoldoende garantie voor het realiseren van die ambitie. Daarvoor is ook nodig dat leerlingen het verband leren zien tussen de schoolstof, de grote ontdekkingen in de natuurwetenschappelijke vakken en de daarmee samenhangende innovaties in maatschappelijke sectoren. De culturele bijdrage van de natuurwetenschap wordt ook wel het natuurwetenschappelijk wereldbeeld genoemd. Dit wereldbeeld wordt gedragen door een beperkt aantal centrale ideeën, zoals het bestaan van behoudswetten. (...) Deze organiserende ideeën zouden in samenhang met de gekozen concepten centrale thema's moeten zijn in het schoolcurriculum. (...) Door uit te gaan van een beperkt aantal kernconcepten en enkele centrale ideeën, worden de hoofdlijnen van het curriculum vastgelegd en wordt structuur aan het onderwijs gegeven zonder een te gedetailleerde invulling van de eindtermen. Deze aanpak sluit beter aan bij de doelstellingen van het schoolvak natuurkunde dan een lijst van aparte eindtermen.”

Vervolgens stelt NINA voor om de inhoud van de examenprogramma's te sorteren in

Ontwikkelingen in natuurkundeonderwijs

een aantal kennisdomeinen, waarbinnen contexten, centrale ideeën en kernconcepten hun plaats moeten krijgen. Ook voor de keuze van deze domeinen lijkt inspiratie te zijn geput uit de hierboven beschreven buitenlandse projecten. De gekozen HAVO-domeinen zijn, volgens NINA, geacht verbonden te zijn “*met verschillende manieren waarop we de wereld kunnen waarnemen, beleven en beïnvloeden*”, met meer nadruk dan tot nu toe op actuele en innovatieve beroepscontexten. Deze HAVO-domeinen, met de bijbehorende contexten, kernconcepten en centrale ideeën, zijn weergegeven in figuur 28.

	Contexten	Kernconcepten	Centrale ideeën
<i>Beeld- en geluidstechniek</i>	<i>GSM communicatie (Medische beeldvorming)</i>	<i>Materie Energie Ruimte en tijd</i>	<i>Verstrengeling van natuurkunde en technologie. Informatie wordt getransporteerd via golven</i>
<i>Verkeer en transport</i>	<i>Vervoermiddelen</i>	<i>Ruimte en tijd Wisselwerking Energie</i>	<i>Verstrengeling van natuurkunde en technologie. Natuurkunde beschrijft de macroscopische wereld Beweging is wisselwerking</i>
<i>Ontwerpen met materialen</i>	<i>High-tech materialen Constructies Medische toepassingen</i>	<i>Materie Energie Wisselwerking</i>	<i>Eigenschappen op macroschaal kunnen op microschaal begrepen en beïnvloed worden.</i>
<i>Aarde en heelal</i>	<i>Ruimtevaart Natuurverschijnselen: aardbevingen, weer, klimaat Planeten en sterren</i>	<i>Materie Energie Wisselwerking</i>	<i>Op en buiten de aarde geldt dezelfde natuurkunde</i>
<i>Menselijk lichaam</i>	<i>Sport (Medische) beeldvorming Radioactiviteit Bescherming</i>	<i>Wisselwerking Energie</i>	<i>Natuurkunde beschrijft processen in levende organismen.</i>
<i>Metten en regelen</i>	<i>Medische technologie Controlekamer</i>	<i>Wisselwerking Energie</i>	<i>Metten is weten</i>

Figuur 28. Domeinen voor het HAVO-examenprogramma (2006).

Voor het VWO-programma is een wat andere benadering gevolgd. Ook daarin zien we domeinen, contexten, kernconcepten en centrale ideeën, maar nu wordt gezegd dat deze domeinen wel de indeling volgen van de theorieën in de natuurkunde.

Tot zover een neutrale weergave van de belangrijkste stappen in de NINA-visie, die ik nu toch van enig commentaar wil voorzien.

4.2.2 Commentaar op deze keuzen

Allereerst zien we dat een duidelijke keuze is gemaakt om het accent te leggen op ‘de basis van de natuurkunde’ voor beide doelgroepen van leerlingen. Qua retoriek stemt

dit het best overeen met de Duitse aanpak. In ieder geval klopt het niet met de eerder aangehaalde ‘new vision’, die immers propageert om vooral de nadruk te leggen op ‘scientific literacy’, ook al hebben we hier wel te maken met leerlingen die voor een bètaprofiel hebben gekozen⁹⁴. Er is dus in dit voorstel nog steeds sprake van de spanning die ontstaat wanneer eenzelfde curriculumdoel gekozen wordt voor duidelijk verschillende doelgroepen. De nadruk op de vermelde brede vaardigheden, zo deze überhaupt als onderwijsresultaat haalbaar zijn, lijkt mij in dit verband toch vooral een doekje voor het bloeden.

In figuur 23, met de centrale NINA-termen, is met name de omschrijving van het begrip context nogal verwarrend, maar ik denk, op grond van latere omschrijvingen, dat de term ‘situatie’ hierin het basisidee weergeeft. Een ‘praktijk’ is dan op te vatten als een hoeveelheid situaties die vanuit een bepaald praktisch perspectief met elkaar samenhangen. En een ‘probleemstelling’ als context zou dan, lijkt me, betrekking moeten hebben op een op een bepaalde manier geproblematiseerde situatie of praktijk. Naar mijn idee is de kern van het gebruik van het begrip context in dit verband, dat het gaat om situaties die al een veelal intuïtieve betekenis hebben voor leerlingen. Door deze situaties vervolgens te verbinden met voor hen nieuwe fysische regels en begrippen, en daarmee tot context *worden* van deze regels en begrippen, krijgen die situaties tevens een voor leerlingen nieuwe fysische inhoud en relevantie. Als ik het zo formuleer begrijp ik ook wat bedoeld kan worden met de beschreven brugfunctie.

In de literatuur worden overigens meerdere contextdefinities beschreven, die zich, min of meer in overeenkomst met de bedoelingen van NINA, vooral richten op de rol van contexten bij het zinvol betekenis geven aan begrippen en ervaringen.⁹⁵ Een concept

⁹⁴ Nogmaals, dit is het voorstel uit het visiedocument ‘Natuurkunde leeft’. De definitieve versie wijkt hier op een aantal punten vanaf, maar voor de discussie is dat niet echt belangrijk.

⁹⁵ Van Oers (1998). From context to contextualizing. *Learning and Instruction*, 8, 473-488. Hij onderscheidt, bijvoorbeeld, drie verschillende contextopvattingen:

“The meaning of a sign or a symbol at one moment in time can only be established in a more or less definite way, when this process of meaning finding (or: construction) is supported by additional information from a surrounding field in which the meaning is functioning. The concrete or ideal field of a sign-meaning unit, that supports the specification of meanings at a given moment in time, is generally referred to as context. Context – generally spoken – then provides for two essential processes: it supports *the particularization of meanings* by constraining the cognitive process of meaning construction, and by eliminating ambiguities or concurrent meanings that do not seem to be adequate at a given moment; on the other hand, context also prevents this particularized meaning from being isolated as it *brings about coherence* with a larger whole.

1. Ausubel (1968), for example, defined the acquisition of meaning explicitly in terms of meaningful learning. The essence of this meaningful learning process is “that symbolically expressed ideas are related in a non-arbitrary and substantial (non-verbatim) fashion to what the learner already knows, *namely to some existing relevant aspect of this structure of knowledge*”. This approach to context (although this term was not frequently used in educational psychology at that time), focused on *embeddedness in cognitive structure*.

2. In another approach to cognition, meaningfulness is not primarily seen as dependent on cognitive structure, but as something deriving from the situation and the involvement of the person in that situation. Context is now conceived of as a meaningful situation, i.e. a situation that makes ‘human sense’ (Donaldson, 1978). It is not amazing that most of those situations are also often characterized as everyday, social situations.

3. Activity as context. (...) The most important for our present analysis is the conclusion that the notion of context amounts to embeddedness in cultural *activities*. (...) Any activity refers to a cluster of possible

wordt in de Wikipedia omschreven als een *denkvorm*, namelijk de mentale voorstelling van een of meer ideeën die worden samengevat in een hogere klasse van gelijkaardige of verwante verschijnselen of abstracte relaties (afkomstig van het Latijnse *concupere* – *conceptum*: bijeen nemen, vatten, begrijpen). Dit lijkt qua intentie grotendeels overeen te stemmen met de in figuur 23 gehanteerde omschrijving. Naast het begrip leeractiviteit als beoogde, in een leerresultaat eindigende, (denk)handeling (van de leerling), zou ik echter ook het begrip onderwijsactiviteit (van de docent) willen onderscheiden en toevoegen, omdat dát hetgeen is wat we als onderwijsgevers en ontwikkelaars in feite vormgeven, met als doel dat daaruit zinvolle, door ons bedoelde, leeractiviteiten zullen voortvloeien. Alleen, dat laatste hebben we niet direct in de hand. We kunnen het alleen bevorderen door onze onderwijsactiviteiten optimaal vorm te geven en uit te voeren. Een natuurkundige onderwijsactiviteit zou ik dan willen omschrijven als een didactisch samenhangend geheel van (onderwijs)handelingen, gericht op het verwezenlijken van een bepaald natuurkunde-didactisch doel, namelijk het leren van iets natuurkundigs. In een volwaardige (onderwijs- en/of leer)activiteit worden veelal een drietal op elkaar betrokken handelingen onderscheiden, te weten: oriënteren, uitvoeren en beoordelen.

Ten aanzien van de in figuur 23 gegeven omschrijving van de CCB past de opmerking dat zowel het aspect van conceptuele duurzaamheid, als het aspect van inhoudelijke motivering, weliswaar wenselijk zijn, maar in principe los staan van wat je van de CCB mag verwachten (zie verder). Die aspecten vragen in de eerste plaats om een daarop gerichte specifieke didactische vormgeving, die weliswaar kán samengaan met een CCB, maar er als zodanig geen onderdeel van uitmaakt.

Inmiddels weten we dat het idee van ‘actief en ontdekkend leren’ verre van nieuw is. Bovendien hebben we in de loop der jaren geleerd dat ontdekkend leren niet alleen moeilijk in de praktijk te verwezenlijken is, maar ook dat er, bij niet zorgvuldige didactische toepassing, belangrijke bezwaren aan verbonden zijn. NINA geeft er geen blijk van deze te kennen, maar specificeert wel een aantal activiteiten dat, omdat ze centraal staan in de natuurkunde (zie figuur 24), ook vorm en ruimte zou moeten krijgen in het actieve onderwijsleerproces. Op zich is het zinvol om ons te realiseren dat het de inhoudelijke context (!) is waarin ze aan de orde komen, die bepaalt of we hier inderdaad moeten spreken van (complexe) activiteiten, dan wel van relatief eenvoudige handelingen. Beide opties zijn mogelijk. Het goed kunnen uitvoeren van deze activiteiten legt, aldus NINA, enkele kernvaardigheden van de natuurkunde vast die dan ook in het examen moeten worden getoetst. Maar kun je dit soort kernvaardigheden eigenlijk wel adequaat onderwijzen? En hoe dan? En hoe toets je ze dan? Dat is nog niet zo eenvoudig. We herkennen hierin immers veel van de eerder genoemde procesbenadering, en daarmee zijn ook alle didactische bezwaren die daaraan verbonden zijn hier weer van toepassing.

actions on an object, generated and integrated by a motive. (...) As such, an activity is a cultural product and pen for change and expansion. It can only be identified on the basis of actions and operations (material, verbal or mental) carried out by a person at a particular moment. Any learning (i.e. reorganization or expansion of activities) is primarily based on actions. The dynamics of activities are founded in the complex interrelationships of motive, goal, means, action, operation, as they are negotiated among participants in an activity.”

De poging om criteria te formuleren voor de opname van concepten in een examenprogramma is lovenswaardig. Dit zou een eind kunnen maken aan het gebruikelijke ‘loven en bieden’, wat dat betreft, bij het opstellen van zo’n programma. De vraag is echter of men, met de keuze van de vier kernconcepten uit figuur 26, hierin niet volledig is doorgeschoten. Immers, in hoeverre kunnen deze vier echt richting geven aan de invulling van een curriculum en een daarop gebaseerd examenprogramma?

Het is interessant om de gemaakte keuzen eerst even te vergelijken met die uit de beschreven buitenlandse projecten. Zoals al gezegd komt de argumentatie het meest overeen met die van het Duitse ‘Physik im Kontext’, zij het dat de formuleringen van NINA gelukkig wat minder zwaar zijn aangezet. Maar met de Engelse projecten zijn er belangrijke verschillen, die direct volgen uit de beschreven argumentatie van Ogborn. Daaruit volgt dan immers dat NINA impliciet blijkt te hebben gekozen voor een logisch-rationele en ontdekkingsgerichte opvatting over het leren van natuurkunde. Of, volgens Ogborn’s redenering, in NINA staat nog steeds de (rationele reconstructie van de) manier waarop natuurkundige kennis wordt verkregen, model voor het leren van natuurkunde. En als gevolg daarvan wordt bij NINA het accent op kernconcepten als het ware nog sterker aangezet dan al gebruikelijk was, terwijl narratieve verklaringen geen rol spelen. Deze nadruk op rationaliteit blijkt bij NINA ook uit hun centrale ideeën. Dat ze hierover überhaupt spreken zou beïnvloed kunnen zijn door de ‘Ideas about Science’ uit ‘Twenty First Century Science’, maar bij nader inzien lijkt dat niet het geval. Zijn de ‘Ideas about Science’ vooral gericht op een zekere verbreding, op aspecten van ‘literacy’, bij NINA zijn de centrale ideeën vooral gericht op het versterken en uitbreiden van de rationaliteit van het natuurkundige wereldbeeld.

Ten slotte de keuze van de domeinen en contexten. De vraag is op grond van welke overwegingen deze domeinen gekozen zijn, wat probeert dit programma al of niet te overdekken en hoe hebben opvattingen over het belang van welke natuurkundige kennis hierin precies een (impliciete?) rol gespeeld. Het enige gegeven criterium, namelijk dat het voorgestelde HAVO-programma verbonden is met verschillende manieren waarop we de wereld kunnen waarnemen, beïnvloeden en beleven, is, zacht gezegd, nogal vaag en dubieus, en geeft ook weinig richting aan de gemaakte keuzen. Het is ook niet specifiek voor het HAVO, en ik heb, eerlijk gezegd, grote moeite om dit criterium in verband te brengen met de gekozen domeinen. Het is ook niet duidelijk wat met deze domeinen als *kennisdomeinen* bedoeld wordt. Neem bijvoorbeeld het domein ‘Verkeer en transport’. Wat voor kennis zou daar nu mee zijn bedoeld? Verkeerstatistiek? Motorkennis? Het Nederlandse wegennet? Noch de aangegeven contexten, noch de kernconcepten scheppen wat dit betreft veel helderheid. En ook de bewering dat door behandeling (van wat?) in contexten leerlingen vertrouwd zouden raken met relevante handelingspraktijken roept niet alleen de vraag op wat daarmee bedoeld wordt, maar ook om welke handelingspraktijken het dan hier zou gaan. Ook over het VWO-programma zijn soortgelijke opmerkingen te maken.

Dit illustreert een algemenere problematiek, die naar voren komt wanneer we, in het kader van vernieuwing, een programmaontwerp willen maken dat nogal radicaal afwijkt van de gebruikelijke indeling in natuurkundige theorieën en deelgebieden. We

dreigen dan snel terecht te komen in een moeras van inconsistenties en onduidelijkheden.

Het is duidelijk dat NINA zich niet op mijn ‘muggenzift-niveau’ heeft willen begeven, maar zich heeft gericht op het uitzetten van de grote lijnen, die dan ook met de nodige pretenties zijn getrokken. Het lijkt alsof ze hun ‘nieuwe visie’ hebben willen uitwerken in een alomvattend kader van samenhangende uitgangspunten en inhoudelijke keuzen. Maar zal de feitelijke uitwerking, juist omdat ze voorbij zijn gegaan aan vele noodzakelijke detailleringen, wel zo mooi kunnen worden als het lijkt? Dat zal de toekomst uiteraard moeten leren, maar de eerste glimp die daarvan zichtbaar werd in het nieuwe concept-examenprogramma (van najaar 2007) stemde, eerlijk gezegd, niet echt vrolijk.

4.2.3 De NINA-syllabus en het concept examenprogramma

Een daarvoor speciaal in het leven geroepen commissie heeft het NINA-voorstel uitgewerkt tot een syllabus en een daarop gebaseerd examenprogramma. Bijvoorbeeld door, zoals in figuur 29 gedaan is voor het VWO, eerst de inhoudsdomeneinen nog eens in kaart te brengen, met daarbij aangegeven de expliciet genoemde contexten en centrale thema’s. Deze laatste zijn in de plaats gekomen van de centrale ideeën, zonder dat er verder, naar mijn idee, een duidelijk verschil tussen is. Wat de domeinen betreft valt op dat er zeer veel aandacht is voor het benoemen van allerlei soorten vaardigheden. Kennelijk is de vaardigheidswind, zoals oorspronkelijk geïntroduceerd door de Stuurgroep Tweede Fase, nog niet echt overgewaaid, alhoewel deze vaardigheden nu slechts voor een klein deel algemeen van karakter zijn. Het grootste deel is geformuleerd in de vorm van natuurkundige (of natuurwetenschappelijke/technische) vaardigheden. Dit lijkt een programmatische vertaling te zijn van de eerder genoemde activiteiten uit figuur 24. De lijst van domeinen is gewijzigd ten opzichte van het eerste visiedocument. Het micro-macrodomein is opgesplitst in twee delen, die qua naamgeving dichter staan bij wat vanuit de vakstructuur gebruikelijk is en we herkennen daarin nu ook de bedoelde standaardtheorie. De contexten zijn een aantal met name genoemde objecten (apparaten) en verschijnselen (processen) waarvoor de bedoelde theorie relevant is.

In feite is dit niets anders dan het klassieke theorie-toepassing schema. In het examen-voorstel is onderscheid gemaakt tussen de (sub)domeinen die alleen in het schoolexamen zullen worden geëxamineerd (in de tabel aangegeven met een asterisk), en de (sub)domeinen die ook aan de orde komen in het centraal examen. Alleen voor de laatste categorie is de syllabus verder uitgewerkt in de vorm van gedetailleerde eindtermen. Het valt dan op dat vooralsnog de inhoudelijk meest vernieuwende domeinen (B2, F en G) alleen in het schoolexamen geëxamineerd zullen worden. Een verstandige strategie, naar het mij lijkt. Per (sub)domein wordt in het examenprogramma één eindterm geformuleerd. Dat lijkt dus een grote vereenvoudiging, zoals ook was aangekondigd, maar schijn bedriegt. In de syllabus, waarin duidelijk wordt gemaakt wat eigenlijk met zo’n eindterm bedoeld wordt, wordt weer in detail weergegeven wat verondersteld wordt onderwezen te zijn. Figuur 30 geeft daarvan een voorbeeld. Dan blijkt in de specificatie die ene eindterm te worden opgesplitst in zeven delen, terwijl bij ieder deel precies wordt aangegeven welke begrippen geacht worden daaronder te

Domein	Subdomeinen	Contexten	Centrale thema's
<i>A1. Algemene vaardigheden</i>	<i>A1.1. Informatievaardigheden</i> <i>A1.2. Communiceren</i> <i>A1.3. Reflecteren op leren</i> <i>A1.4. Studie en beroep</i>		
<i>A2. Natuurwetenschappelijke, technische en wiskundige vaardigheden</i>	<i>A2.1. Onderzoeken</i> <i>A2.2. Ontwerpen</i> <i>A2.3. Modelvorming</i> <i>A2.4. Redeneren</i> <i>A2.5. Waarderen en oordelen</i> <i>A2.6. Rekenkundige en wiskundige vaardigheden</i>		
<i>A3. Vakvaardigheden</i>	<i>A3.1. Technisch-instrumentele vaardigheden</i> <i>A3.2. Vaktaal</i> <i>A3.3. Vakspecifiek gebruik van de computer</i> <i>A3.4. Kwantificeren en interpreteren</i>		
<i>B. Communicatie</i>	<i>B1. Informatieoverdracht</i> <i>B2. Medische beeldvorming*</i>	<i>B1. Cardiogram</i> <i>Muziekinstrumenten</i> <i>Digitale muziek</i> <i>e-mail, LOFAR</i>	<i>Golven zijn een middel tot informatieoverdracht</i>
<i>C. Beweging en wisselwerking</i>	<i>C1. Kracht en beweging</i> <i>C2. Energie en wisselwerking</i> <i>C3. Gravitatie</i>	<i>C1. Menselijk lichaam</i> <i>C2. Energiegebruik en energiebesparing in het verkeer</i> <i>De bewegende mens.</i> <i>C3. Planeetbaan, satelliet</i>	<i>De verandering van beweging is het gevolg van kracht</i> <i>Energie is behouden en veranderlijk</i> <i>Gravitatie, de allesomvattende wisselwerking</i>
<i>D. Lading en veld</i>	<i>D1. Elektrische systemen</i> <i>D2. Elektrische en magnetische velden</i>	<i>D1. Lichtbronnen en apparaten in huis, energiegebruik, energiebesparing</i> <i>D2. Oscilloscoop, röntgenbuis, lineaire versneller, onweer, ontlading, aardmagnetisch veld, relais, luidspreker, elektromotor, noorder- en zuiderlicht, synchrotron, dynamo, microfoon</i>	<i>Lading en stroom zijn de bron van krachtvelden</i> <i>Elektriciteit en magnetisme zijn verstrengeld</i>

Figuur 29 >

<i>E. Straling en materie</i>	<i>E1. Eigenschappen van stoffen en materialen*</i> <i>E2. Elektromagnetische straling en materie</i> <i>E3. Kern- en deeltjesprocessen</i>	<i>E1. Kleur en temperatuur van gloeilampen en sterren</i> <i>E2. Het vermogen van de zon, LOFAR</i> <i>E3. C14-datering, PET</i>	<i>Atomen zijn fundamentele lichtbronnen</i> <i>Atomaire kernen zijn een bron van ioniserende straling</i> <i>Op microniveau is kracht de uitwisseling van deeltjes</i>
<i>F. Quantumwereld en relativiteit</i>	<i>F1. Quantumwereld*</i> <i>F2. Relativiteitstheorie*</i>		<i>Deeltje-golfdualiteit</i> <i>De lichtsnelheid in vacuüm is constant</i>
<i>G. Leven en aarde</i>	<i>G1. Biofysica*</i> <i>G2. Geofysica*</i>		<i>De levende cel</i> <i>Weer en klimaat</i>
<i>H. Natuurwet-ten</i>			<i>Het natuurwetenschap-pelijk wereldbeeld</i>

Figuur 29. De VWO (sub) domeinen, contexten en centrale thema's volgens de syllabus (2007).

Subdomein D2. Elektrische en magnetische velden

Eindterm

De kandidaat kan in contexten elektromagnetische verschijnselen beschrijven, analyseren en verklaren.

Specificatie:

De kandidaat kan

- 1. elektrische velden en elektrische veldsterkte beschrijven als gevolg van de aanwezigheid van elektrische lading en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: veldlijnen, homogeen elektrisch veld;*
- 2. met behulp van het verband tussen elektrische potentiaal en kinetische energie de energieverandering van een geladen deeltje in een elektrisch veld kwalitatief en kwantitatief analyseren en daarbij de eenheid elektronvolt hanteren, minimaal in de volgende contexten: oscilloscoop, röntgenbuis, lineaire versneller, onweer, ontlading;*
- 3. de begrippen magnetisch veld, magnetische veldsterkte en flux toepassen op magnetische verschijnselen en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: homogeen magnetisch veld, veldlijnen, permanente magneet, elektromagneet, rechte stroomdraad, spoel, minimaal in de volgende contexten: aardmagnetisch veld, relais, luidspreker;*
- 4. het gedrag van elektrische stroom en bewegende lading in een magnetisch veld beschrijven en daarbij de grootte en richting van de lorentzkracht op stroomdraden en geladen deeltjes bepalen en daarbij het volgende vakbegrip hanteren: halleffect, minimaal in de volgende contexten: elektromotor, noorder- en zuidlicht, synchrotron;*
- 5. elektromagnetische inductieverschijnselen (waaronder een bewegende magneet in een spoel en een draaiend draadraam in een homogeen magneetveld) kwalitatief analyseren en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: fluxverandering en inductiespanning, minimaal in de volgende contexten: dynamo, microfoon*
- 6. de volgende formules kwalitatief hanteren:*
- 7. met de volgende formules kwalitatieve en kwantitatieve problemen oplossen:*

Figuur 30. Fragment uit de concept syllabus (2007).

vallen. En ook welke contexten. Het blijkt dan dat er in de op deze manier geformuleerde eindtermen weinig overblijft van de vernieuwingsdrift. Van de geformuleerde kernconcepten is geen spoor meer te bekennen, of positiever geformuleerd, daarvan zijn, als je dat zo wilt interpreteren, overal sporen te bekennen. Maar er blijkt op geen enkele wijze uit de syllabus dat deze kernconcepten richting hebben gegeven aan de gemaakte keuzen, en daar waren ze toch voor bedoeld? Nog vreemder is dat het begrip context in de syllabus gereduceerd blijkt te zijn tot het specificeren van slechts enkele apparaten of verschijnselen. Een interpretatie die sterk overeenkomt met de indertijd door de WEN genoemde contextbegrippen. Wel beginnen de meeste eindtermen met de formulering ‘de kandidaat kan in contexten’, daarmee implicerend dat wat volgt in de eindtermen dus in alle contexten moet kunnen worden toegepast. Ofwel, van de omarmde context-conceptbenadering is in de syllabus en in het eindexamenprogramma niet veel meer te bekennen. Reden om wat dieper in te gaan op wat die CCB volgens de retoriek van de ‘deskundigen’ dan wel allemaal niet had moeten doen.

4.2.4 De CCB

Zoals we gezien hebben, is in deze laatste vernieuwingsoperatie voor een CCB gekozen met als belangrijk argument een positieve verwachting ten aanzien van de motivatie van leerlingen. *“De belangrijkste inzichten in de natuurkunde (concepten) worden in contexten geplaatst, dat wil zeggen behandeld in voor leerlingen herkenbare situaties, die motivatie voor leerlingen tot gevolg hebben.”* Ook de Profielcommissies ondersteunen deze aanpak, want zij adviseren: *“stimuleer het gebruik van de concept-contextbenadering ter vermindering van de overladenheid, ter garanderen van de gemeenschappelijke basiskennis en basisvaardigheid én ter versterking van de aantrekkelijkheid en actualiteit.”*

Kortom, dat is nogal wat. Dus als dit echt zo zou zijn, dan is enig enthousiasme voor de CCB toch op zijn minst begrijpelijk. De Profielcommissies preciseren vervolgens: *“Een concept-contextbenadering is een manier om een onderwijsprogramma te ordenen. De benadering kan gebruikt worden om inhoud te selecteren. Zij kan ook als pedagogisch-didactische aanpak ingezet worden op schoolniveau.”* Contexten kunnen nu door de school en/of leerlingen gekozen worden. *“Ook kunnen er binnen de examenprogramma’s enkele contexten vastgelegd worden.”* Enerzijds vanwege de bestaande programma-overladenheid en anderzijds vanwege de steeds verdere ontwikkeling en het naar elkaar toegroeien van de disciplines is het *“eigenlijk niet meer mogelijk noch gewenst om in schoolvakken een programma aan te bieden waarin leerlingen kennismaken met een ‘beetje van alles wat’. Om de versnippering tegen te gaan is het zaak om duidelijk te krijgen wat de kern van de zaak is, welke kennis en vaardigheden alle leerlingen moeten beheersen en welke zaken van minder essentieel belang zijn.”* Maar uiteindelijk is het belangrijkste dat een context-conceptbenadering de ontwikkeling van flexibel, actueel en aantrekkelijk onderwijs bevordert, aldus de Profielcommissies.

Vervolgens gaan zij in op eerdere ervaringen met contexten. Daarover zeggen ze: *“Het is belangrijk om onderscheid te maken tussen contextrijk onderwijs en een concept-contextbenadering. Contextrijk onderwijs is vanaf de jaren zeventig een begrip in het onderwijs. De concept-contextbenadering is van recentere datum.”* Als ik het goed begrijp is het verschil dat de concept-contextbenadering niet alleen een didactische visie kan inhouden, want dat noemen we

dan contextrijk onderwijs en dat hebben we al, maar ook “*een manier kan zijn om relevante leerstof te selecteren en een examenprogramma te ordenen. Het is een methode om robuuste kennis vast te leggen die voor alle leerlingen hetzelfde is en waarmee doorlopende leerlijnen kunnen worden gebouwd. Tegelijkertijd is het een manier om binnen dat robuuste raamwerk van kennis, ruimte te creëren voor docenten en leerlingen.*”⁹⁶

Het is uiteraard niet verbazingwekkend dat NINA zich hierbij niet alleen grotendeels heeft aangesloten, maar het tevens in haar visiestuk concreter uitwerkt. Tegelijk hebben we in het voorgaande echter gezien dat deze hele argumentatie uiteindelijk, in zijn meest concrete uitwerking van de syllabus, grotendeels lijkt te zijn verdwenen. Uit het voorgaande volgt immers ook dat de bewering dat een context-conceptbenadering zou leiden tot minder overladenheid, nauw samenhangt met de gekozen basiskennis. Ofwel, het gaat dus om de uiterst abstracte kernconcepten en kernideeën. Nu zal het voor ieder duidelijk zijn dat deze kernconcepten en ideeën nooit als zodanig ‘los’ onderwezen kunnen worden. Ze zullen altijd aan de orde komen door inbedding in en abstrahering uit de ‘gewone’ disciplinaire begrippen en theorieën. En dus zijn ingebed in de gekozen kennisdomeinen en contexten. En op grond waarvan kies je die dan? Welke ‘gewone’ begrippen neem je wel of niet op in je curriculum? Daarvoor geven, zoals we gezien hebben, de gekozen kernconcepten toch geen duidelijk criterium? Ik kan me ook weinig voorstellen bij de gedachte dat met deze kernconcepten robuuste basiskennis zou worden bedoeld. In welke zin robuust? Voor wie robuust? De gepubliceerde syllabus is het meest overtuigende bewijs dat deze beweringen van de Profielcommissies, met NINA in hun kielzog, wat hun pretenties ten aanzien van de CCB betreft, niet houdbaar zijn. Het werkelijke criterium voor curriculum en examenprogramma blijft dan toch de vage vraag of er wel ‘voldoende belangrijk gevonden natuurkunde in aan de orde komt’. En dat criterium hanteerden we altijd al. En trouwens, hoe bepaal je dat? Volgens mij kan dat niet anders dan door referentie naar de gebruikelijke vakstructuur en dat zie je impliciet ook terug in de door NINA, en vooral in de door de syllabuscommissie gekozen domeinen. Als je overladenheid wilt tegen gaan, dan volgt dat *niet* uit de context-conceptbenadering, maar uit het feit dat je accepteert dat er minder natuurkundige begrippen aan de orde komen. En dat was altijd al zo! Bijvoorbeeld door een bepaald deelgebied van de natuurkunde minder belang-

⁹⁶ Na het verschijnen van ‘Natuurkunde leeft’ heeft met name de CCB veel weerstand opgeroepen. Dit werd mede getriggerd door de veel te pretentieuze manier waarop NINA haar plannen presenteerde. Frappant is dat de bekendste tegenstanders, de actiegroep LENA, wat staat voor Leerbare Natuurkunde, niet alleen inhoudelijk hetzelfde argument van ‘staatsdidactiek’ naar voren bracht als vroeger door tegenstanders van het PLON werd gedaan, maar ook nog uit gedeeltelijk dezelfde personen bestond. In feite maakte NINA daarmee dezelfde beginnersfout als indertijd het PLON. In 1974 presenteerde het PLON voor het eerst haar plannen aan het veld. De pretentieuze manier waarop het dat deed, riep zoveel weerstand op bij een aantal spraakmakende docenten, dat vanaf toen het onderwijsveld verdeeld is geweest in voor of tegen PLON. Deze weerstand concentreerde zich ook toen op het gebruik van contexten. Een en ander werd nog verergerd door het feit dat er, naar ik meen tijdens een Woudschotenconferentie, ter verheldering onderscheid werd gemaakt tussen ‘prealabelen’ en ‘fietsenmakers’. Hetgeen er toe leidde dat sommige tegenstanders van het PLON zich, als geuzennaam, voortaan trots gingen bedienen van de laatste kwalificatie. Deze anekdoten mogen illustreren hoe, in een klein land als het onze, implementaties van goedbedoelde vernieuwingen tot in hun kern gefrustreerd kunnen worden door onvermoede menselijke zwakheden.

rijk te vinden, of de diepgang van behandeling te verminderen. Beide keuzen volgen niet uit de context-conceptbenadering. Dat geldt net zo voor de door de Profielcommissies genoemde ‘voorloper’. “*Het vernieuwde scheikundeonderwijs zal zich niet meer richten op het bieden van een compleet overzicht van de scheikunde (...)*.” Je zult dus moeten snijden in de gebruikelijke kernbegrippen en/of deelgebieden van de vakstructuur. En natuurlijk kan dat, maar toch hebben alle programmacommissies uit het verleden dat kennelijk steeds onvoldoende gedaan. Paradoxaal genoeg is in het verleden, zoals we gezien hebben, juist de aandacht op de *structuur van de discipline* (ofwel: de vakstructuur), als leidraad voor curriculumkeuzen, komen te liggen *vanwege* de wens tot *beperving* (alleen de echte kernbegrippen), *samenhang* (conceptuele structuur in plaats van teveel losse feiten) en *transfer* (het meest fundamentele is ook het meest algemeen toepasbare). Kortom, precies de argumenten van NINA. De vraag is dus wat je als echte disciplinaire kern ziet. Moet deze kern inderdaad op de gebruikelijke manier de natuurkunde overdekken, of is reductie mogelijk tot een nog ‘hardere kern’ dan de kern waaraan we gewend zijn. Gegeven de grotendeels hiërarchische structuur van de natuurkunde, de gebruikelijke wens tot diepgang, en de altijd aanwezige wens om zover mogelijk de grenzen van de natuurkunde op te zoeken, is daarvoor weinig ruimte en daarin ligt dan ook de echte oorzaak van programmaoverladenheid. Er komen steeds zaken bij (juist ook bij NINA) en er kan weinig of niets af. Het is een illusie om te denken dat een context-conceptbenadering hier iets aan zou kunnen veranderen. Ik zie niet in hoe deze benadering kan voorkomen dat je in een natuurkundecurriculum, zeker als je daarin de grens wilt verleggen in de richting van meer moderne natuurkunde, een ‘beetje van alles’ zult moeten opnemen. En daarmee wordt ook de gedachte dat deze benadering een grote mate van keuzevrijheid en flexibiliteit kan introduceren een fictie. Natuurlijk je kunt een bepaald begrippenkader vanuit meerdere contexten onderwijzen, dat kon in principe altijd al. Maar je kunt het niet zomaar overslaan, tenzij je wel heel ernstige concessies wilt doen aan de gewenste diepgang.

Binnen de smalle marges van wat mogelijk is heeft men er voor gekozen een aantal ‘traditionele’ zaken te laten vallen om ruimte te scheppen voor inhoudelijk nieuwe domeinen. Dat is op zich lovenswaardig, maar heeft, hetzij nogmaals benadrukt, weinig te maken met een context-conceptbenadering. De reden waarom dit laatste niet het geval is, is dat NINA, ondanks vele mooie woorden, het begrip context in feite niet serieus neemt. Contexten zijn weliswaar één van de pijlers waarop NINA haar optimistische toekomstvisie baseert, maar tegelijkertijd blijkt uit het examenprogramma dat de contexten zelf er in feite weinig toe doen. Dit onderstreept nog eens de vraag of het getoonde optimisme wel terecht is. Zo we het al eens zijn over wat we precies met contexten bedoelen, dan nog blijken ze in de ogen van NINA alleen *middel* te zijn en geen doel. Ofwel, het zal voor leerlingen al snel duidelijk zijn dat de gekozen contexten alleen verpakking zijn van waar het eigenlijk om gaat, namelijk de gebruikelijke natuurkunde. En dat was precies ook een van de problemen waar het PLON mee geworsteld heeft en waar men van had kunnen leren.

Laten we daarom nu preciezer kijken naar de *inhoud* van het werk van het PLON. Om te zien hoe daarin gezocht is naar antwoorden op de vragen die nu opnieuw actueel zijn.

4.3 Contexten en thema's in het PLON

4.3.1 Aandacht voor praktische relevantie

Omdat natuurkunde op school werd ervaren als een moeilijk, niet relevant en tegelijk heel tijdrovend vak, is het, naar mijn mening, de verdienste van het PLON geweest om in plaats van uitsluitend *theoretische* relevantie, ook *praktische* relevantie een dominante plaats in het natuurkundeonderwijs te willen geven. Theoretische relevantie vraagt immers een bepaalde interesse van leerlingen, die je eigenlijk alleen op het VWO mag verwachten, en dan nog pas bij de gevorderde leerling met een meer exacte aanleg⁹⁷. Daaraan voorafgaand is een aanvankelijk leerproces nodig dat misschien wel kan *resulteren* in een theoretische instelling, c.q. interesse, maar deze niet mag vooronderstellen. Omdat het PLON startte met het ontwikkelen van curricula voor het MAVO en HAVO was een geheel andere aanpak nodig. Is het mogelijk om natuurkunde te onderwijzen vanuit een te ervaren *praktische* relevantie? Kan dat door de leefwereld van leerlingen, in brede zin, als uitgangspunt te nemen? Het begrip leefwereld werd daartoe met een zekere objectiviteit gebruikt. De curriculumontwikkelaars focusseerden op fysische en technische aspecten van de natuurlijke en technische leefomgeving, waarvan zij meenden dat leerlingen deze zouden kennen en/of herkennen uit zowel hun persoonlijk als maatschappelijk leven van alledag. Maar ze gingen niet uit van de veel verdergaande verwachting dat deze aspecten ook deel zouden uitmaken of moeten gaan uitmaken van de *belevings*wereld van leerlingen. Naast aandacht voor natuurlijke verschijnselen, kwam er zo vanzelfsprekend veel meer ruimte voor techniek en later, in de geest van die tijd, ook voor maatschappelijke vraagstukken.

Het moet benadrukt worden dat, alhoewel deze gang van zaken inmiddels redelijk vanzelfsprekend moge klinken, dat in die tijd allesbehalve het geval was. Gebruikelijk was immers, enigszins karikaturaal voorgesteld, het zogenoemde 'theezakjesmodel'. Met de universitaire natuurkunde als uitgangspunt werd een programma voor het VWO opgesteld, dat vervolgens werd 'verdund' voor het HAVO en nog verder voor het MAVO. Ofwel, een klassieke top-down benadering, waarin, anders dan door verminderde abstractie, weinig ruimte was voor de specifieke kenmerken van leerlingen op duidelijk verschillende schooltypen.

Het PLON-project onderscheidde zich door zijn keuze voor 'natuurkunde in context', ofwel, in termen van de recente Profielcommissies, voor *contextrijke* onderwijs, ook van de vermelde toenmalige buitenlandse vernieuwingsprojecten. Achteraf gezien is ook in het PLON het contextbegrip nog op verschillende manieren gebruikt. Vanwege de relevantie voor het voorgaande zal ik me hier beperken tot de manier waarop dat in de bovenbouw van het HAVO en het VWO is gebeurd. Voor de HAVO-bovenbouw leidde

⁹⁷ Het is frappant hoe tijdsafhankelijk en internationaal (Westers?) dit beeld is, zoals moge blijken uit het volgende citaat: "Summarising just the keywords of that research, students see school science as 'dull, authoritarian, abstract, theoretical, fact-oriented and fact-overloaded, with little room for fantasy, creativity, enjoyment, and curiosity', 'difficult and hard to understand' and unfeminine." Uit: R. Taconis & U. Kessels (2009). How choosing science depends on students' individual fit to 'science culture. *International Journal of Science Education*, 31(8), 1115-1132.

dat tot een curriculum wat was opgebouwd uit zogenoemde thema's, voor de VWO-bovenbouw kreeg het curriculum een zogeheten thema/blok-structuur. Bepalend voor het begrip context in de bovenbouwcurricula van het PLON was de definitie van Van Genderen⁹⁸: “*De contexten van een natuurkundige regel zijn de situaties waarop deze regel wordt betrokken.*” Het gaat hierin dus niet over contexten op zich, maar over *situaties* die tot context *worden* van een natuurkundige regel doordat de leerling deze regel op die situaties *leert betrekken*. En het gaat daarbij ook niet over individuele situaties⁹⁹ als zodanig, maar om het reduceren en modelleren van individuele situaties, door af te zien van niet relevante kenmerken en/of wel relevante kenmerken te idealiseren, zodanig dat ze gaan behoren tot een klasse van situaties waarop natuurkundige regels toepasbaar zijn. Neem bijvoorbeeld de klasse van situaties van vallende voorwerpen. Als we op deze klasse van situaties de geïdealiseerde fysische regels voor een vrij vallende puntmassa hebben leren betrekken, door te hebben leren afzien van de invloed van luchtweerstand en van de voorwerpsvorm en andere niet relevant geachte voorwerpskenmerken, wordt deze klasse van situaties dus tot een klasse van contexten van de regels voor de vrije val. Hieruit blijkt al dat deze contextvorming geen vanzelfsprekende zaak is. Het vooronderstelt immers niet alleen kennis van de fysische regels, maar ook van relevante en niet relevante kenmerken van de daarop te betrekken situaties. En daarom ligt het voor de hand dat, in het onderwijs, de docent de keus maakt van zowel de te onderwijzen fysische regels als van de daarop te betrekken situaties. En dat is precies wat in Van Genderen's definitie wordt uitgedrukt. Maar in feite is er tot zover eigenlijk niets nieuws aan de hand.

“*Natuurkundige theorieën onderscheiden zich van wiskundige theorieën doordat ze ergens over gaan, doordat de symbolen in de theorie iets buiten de theorie representeren*”, aldus de eerste zin in een dictaat van Dieks¹⁰⁰ over de grondslagen van de natuurkunde. Natuurkunde is, om met ‘De Grote Van Dale’ te spreken, de wetenschap die zich bezig houdt met alle verschijnselen in de natuur waarbij geen chemische veranderingen optreden. Afgezien van het feit dat dit een wat circulaire omschrijving is, immers wat zijn dan chemische veranderingen, is het wel duidelijk dat het gaat om het beschrijven van natuurverschijnselen. Kortom, natuurkunde *is* klassen van natuurlijke situaties (inclusief de in een laboratorium gecreëerde) problematiseren en beschrijven door middel van een bepaald soort objecten, begrippen en regels, die we fysische objecten, begrippen en regels noemen. De situaties zijn mede constituerend voor de objecten en regels, daaraan ontleen ze hun zin. Ofwel, de regels hebben zonder situaties als contexten geen fysische betekenis. Als we dus regels onderwijzen zonder ze nadrukkelijk te betrekken op situaties in de werkelijkheid, onderwijzen we geen natuurkunde maar wiskunde¹⁰¹.

⁹⁸ D. van Genderen (1985). Context als β -didactisch begrip. *TD- β* , 3, 183-194.

⁹⁹ Van Oers (1998) schrijft over “the overly simplistic notion of context as situation”, maar dan bedoelt hij de onderwijspsychologische invalshoek, zoals beschreven in noot 95. Van Genderen's definitie beschrijft echter het standpunt van de curriculumontwikkelaar en/of docent. Die dienen, naast begrippen en regels, ook door hen zinvol gevonden situaties te kiezen om die regels en begrippen mee te verbinden, en die keuzen zijn verre van simpel, zoals we nog zullen zien.

¹⁰⁰ D. Dieks (1991). *Inleiding in de grondslagen van de natuurkunde*. Utrecht: Collegedictaat UU.

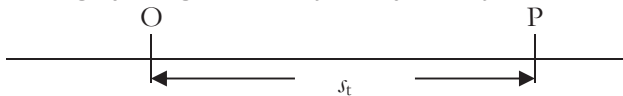
¹⁰¹ In feite was dat precies de situatie met de oude HBS-mechanica en het vak kosmografie, die dan ook door wiskundedocenten werden gegeven.

Immers, wiskundige termen hebben geen referentie buiten de theorie, die ontlene hun betekenis aan hun plaats binnen het systeem van regels. In deze zin opgevat is 'natuurkunde in context' niet meer dan een tautologie. Het hoort dus ook tot het *leren* van die regels om bepaalde natuurlijke situaties als context van die regels te leren zien. Ofwel, natuurkundige regels leren zonder dat er situaties tot context van die regels worden is een paradox. Maar, waarin zat dan het nieuwe van contextrijk natuurkundeonderwijs? Daartoe moeten we preciezer ingaan op de aard van de situaties die mogelijkwijs aan de orde komen in ons onderwijs. Didactisch gezien is het zinvol drie soorten situaties te onderscheiden, theoretische, schoolse en buitenschoolse⁹⁸, die we achtereenvolgens zullen beschouwen.

4.3.2 Theoretische situaties

Een situatie zouden we, in algemene zin, kunnen omschrijven als een configuratie van materiële objecten in ruimte en tijd. Strikt genomen lijkt me de term situatie betrekking te hebben op een bepaald tijdstip, maar in het dagelijks spraakgebruik wordt het verloop in de tijd meestal ook meegenomen onder het begrip situatie. Als we dus een situatie tot context van fysische regels willen maken, houdt dit in dat de theorie gaat bepalen wat je als relevante objecten ziet, wat hun relevante kenmerken zijn en wat je relevante relaties daartussen noemt. Ofwel, we modelleren dan situaties uit de werkelijkheid tot theoretische situaties, die als zodanig niet meer in die werkelijkheid voorkomen. Kort gezegd, we maken een (theoretisch) model van de situatie. Bijvoorbeeld, de situatie van een met constante snelheid rijdende auto, kan, gegeven een bepaald relevant doel, als volgt gemodelleerd worden.

Een massapunt P beweegt zich langs een rechte lijn. Deze rechte lijn heet de baan van het bewegende punt.



We kiezen op die rechte een vast punt O, oorsprong genoemd. Hiervoor nemen we meestal het punt waar de beweging begint. Op een bepaald tijdstip t wordt de plaats van P op die rechte voorgesteld door de afstand s_t .

Nu is de beschrijving van de werkelijke situatie gereduceerd tot een theoretisch object, een (massa)punt, dat geïdealiseerd eenparig beweegt, namelijk volgens een wiskundige rechte, in ruimte en tijd. En daarmee is de beschrijving van een werkelijke situatie gereduceerd tot een puur theoretische beschrijving. Dit is kenmerkend voor natuurkundige theorievorming in het algemeen en voor de mechanica in het bijzonder. Theoretisch geïdealiseerde objecten (massapunt, star lichaam, mathematische slinger, starre rotator) voeren in geïdealiseerde situaties geïdealiseerde bewegingen uit (eenparig rechtlijnig, eenparig versneld, harmonische trilling, rollen zonder glijden). In onderwijs dat zeer sterk gericht is op het leren van theorie (zie figuur 31), is het niet ongebruikelijk zich daartoe te beperken. Het gaat dan als het ware om een gesloten systeem als theoretische reïncultuur. In daartoe speciaal geconstrueerde theoretische situaties wordt het relevante begrippenkader onderwezen en geoefend. Voor zover situaties uit

1.3 RECHTLIJNIGE BEWEGING; VERSNELLING

In het algemeen hangt de snelheid van een lichaam van de tijd af. Als de snelheid constant is, noemt men de beweging *eenparig*. Veronderstel (zie fig. 1.2) dat een deeltje op het tijdstip t in het punt A is met een snelheid v en op het tijdstip t' in B met een snelheid v' . De *gemiddelde versnelling* tussen A en B wordt gedefinieerd door

$$a_{\text{gem}} = \frac{v' - v}{t' - t} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (1.4)$$

De versnelling in een bepaald punt, bijvoorbeeld in A , is de limiet van de gemiddelde versnelling als het tijdvak Δt tot nul nadert. Dus

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} a_{\text{gem}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

of

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (1.5)$$

in woorden: *de versnelling is de afgeleide van de snelheid naar de tijd*. Men kan de versnelling meten door de snelheidsverandering dv in een zeer klein tijdvak dt te bepalen.

In het algemeen verandert de versnelling gedurende de beweging. Als bij een rechtlijnige beweging de versnelling constant is, wordt de beweging *eenparig veranderlijk* genoemd. Als de absolute waarde van de snelheid met de tijd toeneemt heet de beweging *versneld*, als ze afneemt heet de beweging *vertraagd*.

Als wij de versnelling kennen, kunnen wij de snelheid berekenen door vgl. (1.5) te integreren; omdat $dv = a dt$ krijgen wij dan

$$\int_{v_0}^v dv = \int_{t_0}^t a dt$$

waarin v_0 de snelheid op het tijdstip t_0 is. Omdat

$$\int_{v_0}^v dv = v - v_0$$

Figuur 31. Het onderwijzen van theorie, met uitsluitend theoretische situaties. Uit: Alonso en Finn, Fundamentele Natuurkunde, deel1. Amsterdam: Agon Elsevier, 1973.

de werkelijkheid überhaupt aan de orde komen, is dat meestal alleen als oefensituatie voor het leren hanteren van de theorie. Dit gebeurt dan in de vorm van ‘end-of-chapter’ opgaven en/of toepassingen, die echter dan al grotendeels zijn voorgeïmagineerd in de relevante fysische terminologie (zie figuur 32). En het is dan zonder meer duidelijk dat het niet om die contexten als zodanig gaat, maar dat ze slechts dienen ter illustratie van de theorie. Zo werd, en wordt nog grotendeels, natuurkunde op universitair niveau onderwezen. Er wordt theorie onderwezen en geoefend in daarop toegesneden theoretische contexten. Een vorm van onderwijs die overigens zeker sterke punten heeft, bijvoorbeeld voor diegenen die zodanig theoretisch zijn geïnteresseerd dat voor hen de schoonheid en elegantie van fysische theorieën en het intellectuele spel daarmee, in zichzelf voldoende motiverend zijn. Voor zover het voortgezet onderwijs een aftreksel was en is van het universitair onderwijs kon en kan men die aanpak ook daar aantreffen. Maar voor hoeveel leerlingen in dat onderwijs mag men uitgaan van de daarvoor noodzakelijke theoretische interesse?

VRAAGSTUKKEN

1.1 Een deeltje beweegt eenparig versneld langs de X -as; op $t=0$ is $x=0$. De coördinaten op de tijdstippen t_1 en t_2 zijn resp. x_1 en x_2 . Bewijs dat de versnelling gelijk is aan $a=2(x_2t_1-x_1t_2)/t_1t_2(t_2-t_1)$.

1.2 Een auto wacht voor rood licht; nadat het groene licht is verschenen rijdt de auto gedurende 6 s eenparig versneld ($a=2\text{ ms}^{-2}$) en daarna eenparig. Als de auto start passeert een vrachtauto, eenparig in dezelfde richting rijdend met een snelheid van 10 ms^{-1} . Wanneer en hoe ver van het stoplicht haalt de eerste auto de tweede in?

1.3 Twee auto's, A en B , rijden in dezelfde richting met snelheden v_A en v_B . Als auto A zich op een afstand d achter B bevindt, begint A te remmen, waarbij een constante vertraging a optreedt. Bewijs dat er een botsing zal optreden als $v_A - v_B > \sqrt{2ad}$.

Figuur 32. Oefenen met de theorie, in theoretische dan wel in al sterk fysisch gemodelleerde situaties (horend bij de theorie uit figuur 31).

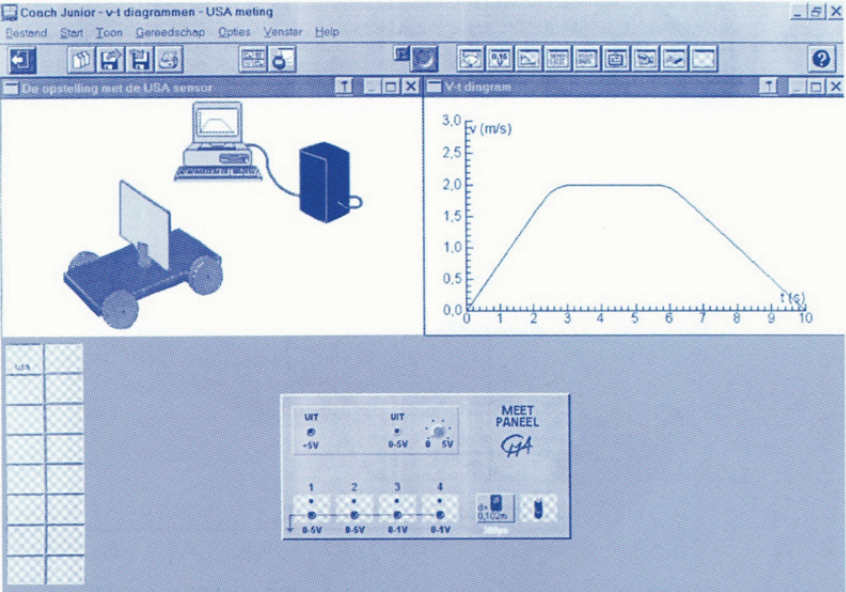
Een probleem hiermee is dat het proces van idealisering (en modellering), waardoor een realistische situatie met behulp van de objecten en begrippen van de theorie wordt gemodelleerd (en omgekeerd), geen onderdeel meer uitmaakt van het onderwijsproces. Dit heen-en-weer modelleren tussen theorie en werkelijkheid wordt dan, vanuit een overschatting van het belang van de theorie, ofwel als niet relevant gezien, ofwel ten onrechte als min of meer vanzelfsprekend voorondersteld. Voor fysici moge dit inderdaad allemaal duidelijk zijn (alhoewel ik zelfs dat betwijfel), voor leerlingen is het dat doorgaans zeker niet en kan het slechts tot vervreemding leiden. Op school leer je een vreemde theorie, die alleen in vreemde kunstmatige situaties bruikbaar is. Bovendien blijft het zo verborgen waar die theorie op gebaseerd is, want die wordt immers in zijn gegeven eindvorm, als vaste feiten, onderwezen.

4.3.3 Schoolse situaties

Vandaar dat, sinds de beschreven vernieuwingsgolf van de jaren vijftig en zestig, deze puur rationeel-theoretische aanpak meer en meer vervangen is door een empirische aanpak, dat wil zeggen dat te onderwijzen theorie wordt ontwikkeld vanuit verschijnselen en experimentele gegevens. De theorie is dan niet een vanzelf gegeven 'iets', maar het constructieve resultaat van abstractie en deductie uit de empirie. Om dat proces ook in het onderwijs te laten leven zijn indertijd, zoals al genoemd, vele innovatieve leermiddelen ontworpen (zoals luchtkussenbaan, tijdtikker, stroboscoop, etc.,

De computer

Gebruik je bij het bewegingsonderzoek een *computer*, dan heb je nog allerlei randapparaten nodig. Zo moet je allereerst de beschikking hebben over een *interface* (de verbinding tussen computer en de buitenwereld) en een *sensor*. Een sensor zet een natuurkundige grootte, bijvoorbeeld snelheid, om in een elektrisch signaal, dat via de interface naar de computer wordt verzonden. Om te regelen wat en hoe je meet, heb je ten slotte nog een aantal *computerprogramma's* nodig. Het meetprogramma *I.P. Coach* (de *kinegraaf*) van de stichting CMA (Centrum voor Microcomputer Applicaties) ondersteunt bijvoorbeeld ultrasone sensoren. Met de sensoren USA en USP kun je plaats en snelheid van een voorwerp bepalen.



The screenshot shows the 'Coach Junior - v-t diagrammen - USA meting' software window. The main window is titled 'V-t diagram' and displays a graph of velocity v (m/s) versus time t (s). The graph shows a trapezoidal curve starting at (0,0), rising to a constant velocity of 2.0 m/s between $t=2$ and $t=6$, and then falling back to 0.0 m/s at $t=10$. The y-axis ranges from 0.0 to 3.0 m/s, and the x-axis ranges from 0 to 10 s. To the left of the graph is a diagram of a small cart on wheels connected to a computer and a sensor box. Below the graph is a 'MEET PANEEL' (Measurement Panel) with four channels labeled 1, 2, 3, and 4, each with a voltage range: 0-5V, 0-5V, 0-1V, and 0-1V. There are also buttons for 'UIT' (Off) and 'MEET PANEEL'.

Figuur 33. Een modern voorbeeld van schoolcontexten. Uit: Middellink et al., Systematische Natuurkunde N1. Baarn: Nijgh/Versluys, 1998.

zie figuur 4, 5 en 33). Vandaag kunnen we de hard- en software die speciaal ontworpen zijn om op school computerexperimenten te kunnen uitvoeren en verwerken, ook in deze categorie rangschikken. Omdat je deze apparaten en experimenten alleen aantreft in de school, waar ze alleen gebruikt worden voor het onderwijzen van natuurkundige begrippen en regels, worden de daarmee gecreëerde onderwijssituaties tot *schoolcontexten* van die regels en begrippen. Wanneer het daarbij blijft, is er nog steeds sprake van een in zichzelf gesloten en geïsoleerd, vervreemdend systeem (begrippen en regels met alleen schoolse en theoretische contexten), dat, in ieder geval voor leerlingen, nog steeds grotendeels los zal staan van de niet-schoolse werkelijkheid. Van Genderen wijst er dan ook nadrukkelijk op dat schoolcontexten *hulpmiddel* zijn. Maar middel tot wat, kunnen we ons afvragen? Ook daarover is hij duidelijk: “*De verbinding van fysieke regels met schoolcontexten zijn middel; de verbinding van fysieke regels met praktijkcontexten doel.*” Hij gebruikt hier de term praktijkcontext, c.q. situatie, een term die ik niet uitgebreid wil gebruiken om verwarring te voorkomen met het praktijkbegrip dat verderop nog aan de orde zal komen. Ik geef daarom de voorkeur aan de termen realistische situatie en context. Ik realiseer me dat men hiertegen uiteraard als bezwaar kan aanvoeren dat ook schoolse situaties realistisch zijn, in de zin dat ze wel degelijk echt in de realiteit voorkomen, maar dat neem ik op de koop toe.

4.3.4 Realistische situaties

Het was dus, strikt genomen, niet het gebruik van situaties als contexten waarin het PLON zijn belangrijkste vernieuwing zocht, maar in het feit dat men heeft geprobeerd zo veel mogelijk het leren van natuurkunde te laten samenvallen met het natuurkundig leren beschrijven van realistische situaties uit de *buitenschoolse* werkelijkheid (zie figuur 34). Door op die manier te proberen de dreiging te doorbreken van ‘natuurkunde als een voor leerlingen gesloten en vervreemdend schools systeem’, trachtte het PLON het natuurkundeonderwijs *relevanter* en *motiverender* te maken voor de leerlingen. Relevanter in de zin dat leerlingen dan ook zouden zien hoe natuurkunde bruikbaar is in hun eigen leefwereld, zowel nu als later, en er daardoor ook meer voor gemotiveerd zouden raken. Of dit trouwens een juiste veronderstelling is geweest, komt later aan de orde. Nu is belangrijk om ons te realiseren dat die te ervaren relevantie dan natuurlijk minstens zoveel afhangt van de te kiezen situaties, als van de daarop te betrekken regels, want die bepalen immers elkaar. En dus zijn contexten dan niet slechts een *middel* voor het leren van natuurkundige begrippen en regels, maar net zo goed onderwijsdoel. Ofwel, kort gezegd, context is ook leerstof! De grote vraag wordt dan *welke* situaties te kiezen om context te worden van *welke* natuurkundige begrippen en regels. Dat wil zeggen dat, als we het uitgangspunt dat ‘natuurkunde in context’ dit vak relevanter maakt voor leerlingen serieus nemen, deze keuzen *functioneel* op elkaar betrokken moeten zijn. En deze te ervaren relevantie stelt dan ook eisen aan de vormgeving van het onderwijsleerproces. Zo ligt het voor de hand om te zeggen dat het daarvoor nuttig en nodig is om de situaties zodanig te kiezen en te *problematiseren* dat de te onderwijzen fysieke regels en begrippen juist *nodig zijn* om de probleemstelling te beantwoorden. Dan kan er sprake zijn van een als relevant te ervaren contextvorming. Zoals we nog zullen zien, zal in de praktijk een ideale passing van situatie, probleem-

stelling en natuurkundige regels echter meestal niet zonder problemen zijn, en dan hebben we te maken met wat je didactische fricties zou kunnen noemen.

4.2 ROLWRIJVING BIJ FIETSEN

1.

- Welke factoren zullen invloed hebben op de grootte van de rolwrijving bij een fiets?
- Formuleer onderzoeksvragen bij het onderwerp 'rolwrijving bij fietsen', waar-

op je via experimenten antwoord denkt te kunnen krijgen.

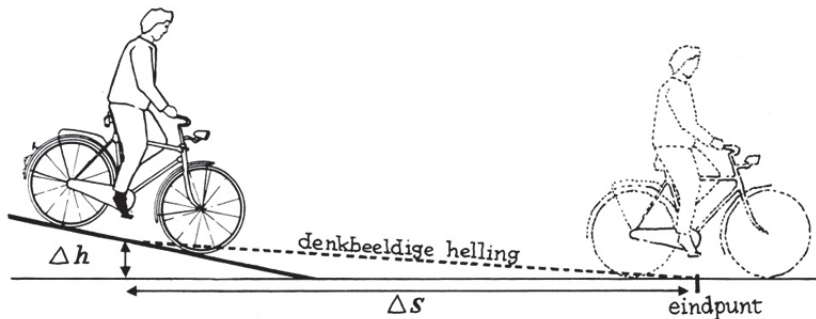
- Stel hypothesen op over de antwoorden op de onderzoeksvragen.

Voordat je gaat onderzoeken van welke factoren de rolwrijving bij fietsen afhangt en welke verbanden er bestaan tussen die factoren en de rolwrijving, moet je een keuze maken voor een meetmethode.

MEETMETHODE

Bij het meten van de rolwrijving gaat het om kleine krachten, in de orde van 1% van het gewicht van de fiets + fietser. Dat komt overeen met de mee- of tegenwerking door de zwaartekracht op een helling van 1% (zie paragraaf 2.6). Als je dus de rolwrijving meet door de fiets met een constante, *kleine* (waarom klein?) snelheid te slepen, moet je wel een goed horizontaal stuk weg uitzoeken.

Een andere methode is, dat je juist van een helling gebruik maakt, in combinatie met een vlak stuk weg. Je start zonder beginsnelheid op een hellende plank, en rijdt uit tot stilstand. De tegenwerking door de rolwrijving is dan even groot geweest als de *gemiddelde* meewerking door de zwaartekracht. Die gemiddelde meewerking door de zwaartekracht kun je vinden uit het hellingspercentage van de *denkbeeldige* helling tussen het startpunt en het punt waar je tot stilstand kwam. Neem wel een klein hoogteverschil (bijv. $\Delta h = 10$ cm) om de snelheid klein te houden met het oog op de luchtweerstand.

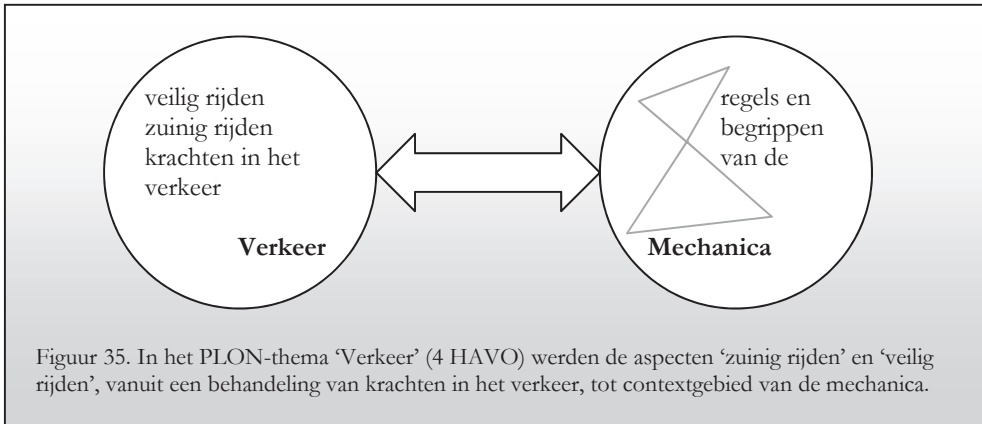


Figuur 34. Een voorbeeld van werken met realistische contexten. Uit: PLON-thema 'Verkeer'. Utrecht: UU, 1983.

4.3.5 Van situaties naar een thema

Vanuit het oogpunt van leerbaarheid van begrippen en relaties leek (en lijkt) het wenselijk om de gebruikelijke theoretische vakstructuur van de natuurkunde nog steeds als uitgangspunt te nemen voor curriculumkeuzen en structurering, maar niet meer als enig primair uitgangspunt. Een natuurkundige theorie is immers een samenhangend en betekenisgevend geheel van regels en begrippen die er deel van uitmaken. Als we dan vervolgens situaties willen kiezen die context moeten worden van deze theorie, doet zich de vraag voor of die situaties in zichzelf ook al een zekere samenhang moeten vertonen, of juist niet. Deze vraag werd positief beantwoord voor een na te streven praktische relevantie, maar negatief indien het gaat om theoretische relevantie. In

het geval van te ervaren praktische relevantie, werden daartoe ‘werkelijkheidsgebieden’ geselecteerd, die enerzijds herkenbaar zouden zijn voor leerlingen en anderzijds, door een daaraan te verbinden vraagstelling, zouden ‘vragen’ om de kennis van een bepaald natuurkundig leerstofgebied¹⁰². Deze potentiële praktische relevantie zou dus door de uitwerking tot contextgebied tot feitelijke realisering moeten komen. Een werkelijkheidsgebied diende een zinvolle samenhang te geven aan individuele situaties, die, als contextgebied, nog werd versterkt door de samenhang van te behandelen natuurkundige regels en begrippen (zie figuur 35).



De keuze om een (of enkele) leerstofgebied(en) van de natuurkunde af te willen beelden op een werkelijkheidsgebied stelt natuurlijk wel zijn randvoorwaarden. De WRR benoemde indertijd voor de basisvorming een aantal richtinggevende ‘levensgebieden’, zoals ‘beroep en bedrijf’, ‘techniek en ambacht’, ‘verkeer en vervoer’, ‘recreatie en vrije tijd’, etc. Wat hierin opvalt is enerzijds de algemene geldigheid hiervan, en anderzijds het daardoor weinig concrete karakter. Immers, bij al deze grote zaken moeten we wel één ding goed in het oog houden, en dat is dat natuurkundige kennis weliswaar een verrijking van de werkelijkheid kan inhouden, maar tegelijk ook altijd een verarming. Dat laatste vanwege wat ik, in navolging van de indertijd zeer bekende natuurkunde-pedagoog Wagenschein het ‘Aspektcharakter der Physik’, zou willen noemen (zie ook hoofdstuk 8). Op zijn best *reduceren* we in het onderwijs werkelijkheidsgebieden tot contextgebieden. Zo kunnen we het werkelijkheidsgebied ‘verkeer’ bijvoorbeeld, als aparte natuurkundige keuze, reduceren tot mechanische aspecten van bewegings- en botsingssituaties in het verkeer. Net zo kunnen we het gebied ‘muziek’ reduceren tot de fysisch/technische beschrijving van het oor, geluid, muziekinstrumenten en opname- en weergaveapparaten.

¹⁰² Dit is niet zonder meer vanzelfsprekend. Er is immers ook een aanpak denkbaar waarin deze vakstructuur juist wordt losgelaten. Dit was en is vooral aan de orde in project- of probleemgestuurd onderwijs, of in onderwijs dat wil aansluiten op brede kerndoelen en leergebieden. Neem bijvoorbeeld een thema als Energie. Als je dit in brede (natuurwetenschappelijke) zin uitwerkt, komen niet alleen begrippen uit verschillende natuurkundige deelgebieden aan de orde, maar ook uit chemie en biologie.

1. Vergelijken

Themavraag: hoe vergelijk je eerlijk?

Een introductiethema, gericht op de methodische vaardigheid 'eerlijk vergelijken'.

2. Weersveranderingen

Themavragen: welke factoren bepalen het weerbeeld; welke rol spelen deze factoren bij weersveranderingen; hoe komt een weersvoorspelling tot stand en hoe betrouwbaar is deze; welke menselijke activiteiten beïnvloeden het weer nu en in de toekomst?

Uit reguliere leerstof: vaste stoffen, vloeistoffen, gassen, warmteleer.

3. Muziek

Themavraag: welke objectieve factoren bepalen het karakter en de kwaliteit van muziek?

Uit reguliere leerstof: trillingen, golven, geluid.

4. Verkeer

Themavragen: welke factoren zijn van belang voor veiligheid in het verkeer; welke factoren zijn van belang voor zuinigheid in het verkeer; welke krachten beheersen de bewegingen in het verkeer?

Uit reguliere leerstof: kinematica, dynamica, energetica.

5. Elektrische machines

Themavragen: motoren en generatoren, hoe werken ze precies; welke technische oplossingen zijn bedacht om machines zo gunstig mogelijk te construeren?

Uit reguliere leerstof: elektriciteit en magnetisme.

6. Energie en Kwaliteit

Themavragen: hoe kun je een bepaalde taak zo inrichten dat ze zo weinig mogelijk energie kost; hoe krijg je de energie die je nodig hebt uit zo weinig mogelijk brandstof; welke brandstof/ energiebron kun je het beste gebruiken voor welke taak; hoe kun je je totale energiesysteem zo verstandig mogelijk organiseren?

Uit reguliere leerstof: energie.

7. Materie

Themavragen: waar zijn natuurkundigen naar op zoek, hoe gaan ze te werk, hoe duur is dit onderzoek, wie werken er aan wat en wat voor nut zou het kunnen hebben anders dan het bevredigen van de eeuwige nieuwsgierigheid van de mens naar hoe alles in elkaar zit?

Uit reguliere leerstof: atoomfysica, deeltjesfysica

8. Lichtbronnen

Themavragen: waarvoor gebruiken we verschillende soorten lichtbronnen; wat gebeurt er eigenlijk als een materiaal licht uitzendt; hoe zitten al die verschillende soorten lampen in elkaar?

Uit reguliere leerstof: atoomfysica, optica.

9. Ioniserende Straling

Themavragen: waar komt de straling vandaan; wat zijn de eigenschappen van ioniserende straling; hoe kan deze straling worden gemeten; wat zijn de effecten van deze straling voor het menselijk lichaam; welke gebruiksmogelijkheden biedt de straling; hoe is bescherming mogelijk?

Uit reguliere leerstof: kernfysica, stralingsfysica

10. Elektronica

Themavragen: hoe beïnvloeden wetenschap, techniek en samenleving elkaar bij de ontwikkeling van elektronica; welke effecten kan de ontwikkeling van de elektronica hebben op onze toekomstige samenleving; hoe worden een aantal functies gerealiseerd op het gebied van elektronische communicatie, informatieverwerking en automatisering?

Uit reguliere leerstof: elektriciteit, vaste stof, elektronica.

Figuur 36. Een thematisch curriculum (PLON-HBB)

Didactisch gezien is het belangrijk om dit aspectkarakter duidelijk te laten zijn en worden voor leerlingen. In het PLON-HBB curriculum (zie figuur 36) werd dit gedaan door aan een geïntroduceerd werkelijkheidsgebied een inperkende, op de rol van de natuurkundige inhoud gerichte *probleemstelling* te verbinden, meestal geconcretiseerd in een themavraag. Daarmee werd als het ware een te behandelen 'thema' afgebakend. Van daar dat men sprak van thematisch geordend natuurkundeonderwijs.

Bij de feitelijke invulling van zo'n thema moeten we de keuzen van leerstofgebieden en werkelijkheidsgebieden op elkaar proberen af te stemmen, bijvoorbeeld in een iteratief proces, volgens een heen-en-weer-denken-procedure. We beginnen dan met het ruwweg vaststellen van begrippen, regels en ervaringen, die we, in eerste instantie, tot een leerstofgebied zouden willen rekenen. Tegelijk selecteren we een aantal werkelijkheidsgebieden en vragen ons af of we daarbinnen, op grond van de voorlopig geselecteerde fysische kennis en op grond van de gekozen onderwijsvisie, kunnen komen tot zinvolle contextgebieden. Naar beide kanten zullen we dan concessies moeten doen, bijvoorbeeld omdat toch belangrijke natuurkundige begrippen geen plaats blijken te kunnen krijgen in een bepaald contextgebied¹⁰³, of omdat minder algemene gebieds-specifieke begrippen voor het werkelijk recht doen aan een contextgebied toch heel belangrijk blijken te zijn. En dat alles net zolang tot we, op curriculumniveau, het gevoel hebben dat een goed beargumenteerbare selectie van zowel werkelijkheidsgebieden, als daarbij horende contextgebieden, is ontstaan.

4.3.6 Een voorbeeld van een thematisch curriculum

Voor de Basisvorming hebben wij indertijd, mede op grond van de PLON-ervaring, de volgende criteria voor de keuze van contextgebieden geformuleerd¹⁰⁴, die in principe nog niets aan geldigheid verloren hebben:

- Contextgebieden moeten evenwichtig verdeeld zijn over belangrijke werkelijkheidsgebieden van leerlingen, nu en in hun toekomst (wonen, voedsel, energie, gezondheid, natuur en milieu, wereldbeeld, veiligheid, arbeid, vrije tijd);
- Contextgebieden moeten niet beperkt blijven tot de dagelijkse omgeving;
- Contextgebieden moeten ruime mogelijkheden bieden voor het functioneren van fysische/chemische basiskennis;
- Contextgebieden moeten het blikveld van de leerling verruimen en mogelijkheden bieden tot interessante en uitdagende lessen;
- Contextgebieden moeten door leerlingen als zinvol ervaren kunnen worden en van betekenis kunnen zijn voor hun cognitieve ontwikkeling;
- Contextgebieden moeten vanuit een samenhangend werkelijkheidsgebied gekozen kunnen worden;

¹⁰³ Een prototypisch probleem deed zich voor toen bleek dat in het MAVO-thema 'Verkeer en Veiligheid' geen plaats zou zijn voor de valversnelling! En die dus buiten het curriculum dreigde te vallen. Daarvoor in de plaats zouden dan begrippen als remweg en rolwrijving komen! Dat was voor velen onacceptabel.

¹⁰⁴ H.P. Hooymeyers, P.L. Lijnse & W. de Vos (1989). *Basisvorming Natuurkunde en Scheikunde*. Leiden: Stenfert Kroese.

- Contextgebieden moeten in zichzelf voldoende belangrijk zijn om in het onderwijs aan bod te kunnen komen.

Ondanks alle goede bedoelingen kunnen we van deze criteria alleen maar zeggen dat ze een richting aangeven waarbinnen nog veel mogelijk is. En de vraag blijft dan hoe deze mogelijkheden verder in te perken en te concretiseren, en de gemaakte keuzen te verantwoorden. In ieder geval is het daarvoor nodig om, naast een verantwoording op individueel themaniveau, een verantwoording van de gemaakte keuzen te geven op curriculumniveau. Geeft het totale curriculum een goed uitgebalanceerd beeld voor het bereiken van de nagestreefde doelen? Om deze curriculumkeuzen te kunnen maken, kwam er, in het geval van het PLON-HBB curriculum, naast de aandacht voor werkelijkheids- en leerstofgebieden nog een belangrijk derde element bij. Van een goed afgewogen natuurkundecurriculum mag men immers ook verwachten dat het een authentiek beeld geeft van de diversiteit aan mogelijke natuurkundige activiteiten, c.q. werkterreinen. Ofwel, geeft de verdeling over contextgebieden een voldoende volledig en evenwichtig beeld van de mogelijkheden van natuurkunde als fundamentele en toegepaste wetenschap? Daardoor werd het gevaar van een te grote ongerichte uitwaaiering over, bijvoorbeeld, de ‘levensgebieden’ van de WRR (ook al waren die toen nog niet als zodanig geformuleerd) idealiter teruggebracht tot het leveren van een bijdrage aan een breed maar herkenbaar natuurkundecurriculum. Achteraf gezien werden daartoe de volgende natuurkundige invalshoeken onderscheiden¹⁰⁵.

1 Natuurkunde als culturele activiteit – Hierin gaat het er om de zuiver wetenschappelijke kant van de natuurkunde te benadrukken. Dus als het werk van vele onderzoekers in tegenwoordig vaak zeer grote laboratoria, gericht op het zoeken naar zowel de structuur van het hele kleine, de materie, als van het hele grote, de kosmos. Met als resultaat natuurkundige kennis, die, los van enige nuttige toepasbaarheid, gezien kan worden als een bijdrage aan onze cultuur, en in die zin ook verbonden is met andere cultuuruitingen als filosofie, religie en ‘schone kunsten’.

2 Natuurkunde van het vrije veld – Dit is een heel ander aspect van de natuurkunde, dat gewoonlijk weinig aandacht krijgt op school. Natuurkundige kennis ter vergroting van het inzicht in de fenomenologie van de ‘dode’ natuur uit je dagelijkse ervaringswereld. En daardoor hopelijk bijdragend tot een dieper besef van de ‘schoonheid van de natuur’.

3 Natuurkunde en techniek – Hierbij gaat het om het belang van natuurkunde voor de technologische ontwikkeling. Dit betreft zowel de meer ‘kleinschalige’ techniek in de directe leefomgeving (thuis en op school) als meer ‘grootschalige’ technologieën in industrie en maatschappij. Natuurkundige en technische kennis zijn daarin onontwaaarbaar door elkaar heen verweven en dienen dus ook als zodanig aan de orde te komen.

4 Natuurkunde en de levende natuur – Ook deze kant van de natuurkunde dreigt zich nogal eens aan ons gezichtsveld te onttrekken. Toch is alle functioneren van le-

¹⁰⁵ P.L. Lijnse (1982). Blikken naar een nieuwe cursus. In verslag PLON-HBB-conferentie. Deze invalshoeken werden onderscheiden bij de revisie van het PLON-HBB curriculum om de vraag te verhelderen of de keuze van contextgebieden niet had geleid tot een te eenzijdige invulling.

Ontwikkelingen in natuurkundeonderwijs

vende wezens, waaronder dat van ons zelf, mede bepaald door de wetten en regels van de natuurkunde. Ook is er steeds meer biofysisch onderzoek dat zich daarop richt.

5 Natuurkunde en maatschappij – Welke rol speelt natuurkundige kennis in de maatschappij. Enerzijds kan het dan gaan om het expliciet reflecteren op de relatie natuurkunde-technologie-maatschappij, en anderzijds om het leren hanteren van natuurkundige kennis in direct maatschappelijk handelen.

Thema	Natuurkundig werkterrein					
	Vakwetenschap en cultuur	Vrije veld	Techniek	Levende natuur	Maatschappij	
Weersveranderingen	*	***				
Verkeer	*		**		*	
Elektrische Machines			***		*	
Muziek	**		*	*		
Energie en Kwaliteit	*		*		**	
Materie	***				*	
Lichtbronnen	*		**		*	
Elektronica			**		**	
Ioniserende Straling			*	**	*	
Totaal	9	3	12	3	9	

Figuur 37. De verdeling van de PLON-HBB thema's over de overkoepelende toepassingsgebieden. Per thema zijn vier sterren verdeeld. Het eerste introductiethema is niet opgenomen in dit overzicht.

Door middel van de gekozen thema's werden dus niet alleen de werkelijkheidsgebieden exemplarisch gereduceerd tot contextgebieden, maar, zoals figuur 37 laat zien, ook een verdeling gegeven over de onderscheiden deelgebieden van natuurkundige activiteit. Figuur 37 demonstreert een belangrijk kenmerk van een thematisch curriculum, namelijk zijn flexibiliteit vanwege de mogelijkheid tot vormgeving van een diversiteit aan invalshoeken. Door goede variatie in contextkeuze kunnen veel verschillende accenten gelegd worden, zeker in vergelijking met de uniformiteit van het normale theoretisch gerichte natuurkundeonderwijs. Daarmee biedt een thematisch curriculum dus belangrijke mogelijkheden om beter te kunnen aansluiten bij de diversiteit in belangstelling en capaciteiten van leerlingen en docenten. Of het PLON-HBB curriculum die optimale balans tussen deze mogelijkheden ook werkelijk heeft gevonden, is op zijn minst voor discussie vatbaar. Uit figuur 37 blijkt dat er drie hoofdlijnen aanwezig waren in het curriculum en twee zijlijnen. Het valt zeker te verdedigen dat techniek in een HAVO-curriculum een belangrijk accent krijgt, tenslotte is in de leefwereld van leerlingen niet de natuurkunde zelf maar de techniek het meest zichtbaar, maar een te zwaar accent daarop kan ook contraproductief werken. Het zware maatschappelijke

accent paste zeker in de geest van die tijd, maar een evenwichtiger verdeling over de kolommen van figuur 37 zou nu toch mijn voorkeur hebben en, denk ik, ook van veel leerlingen. Maar het positieve van een thematisch curriculum is in ieder geval dat zo'n discussie over diversiteit dan ook werkelijk gericht gevoerd kan worden, en niet onbenoemd op de achtergrond blijft vanwege het achterwege blijven van contexten.

Een ander punt van kritiek dat tegen een thematisch curriculum in het bijzonder, en tegen het gebruik van contexten in het algemeen, werd en wordt ingebracht is dat zo'n curriculum onvermijdelijk sterk tijdsgebonden en vaak zelfs modieus zou zijn. Ik vermoed dat dit terecht wordt benadrukt, maar het paradoxale is dat men het net zo goed kan beschouwen als een sterk punt. Immers, door het natuurkundeonderwijs in principe actueler en relevanter voor leerlingen te willen maken wordt het onvermijdelijk ook meer tijdsgebonden. Dit moet dus samengaan met de noodzaak om regelmatig curriculumherzieningen te doen plaatsvinden. De geschiedenis leert echter dat, gegeven de frequentie waarmee, vanwege maatschappelijke veranderingen, deze herzieningen toch al plaatsvinden, het tegenargument van tijdsgebondenheid niet zozeer feitelijk, als wel vooral emotioneel van aard is.

4.3.7 Functionaliteit en generaliteit

Wat betekent het werken met thema's voor het leren van de natuurkunde, bijvoorbeeld voor wat betreft de resultaten van de boven vermelde heen-en-weer denkprocedure en ten aanzien van het verwachte niveau van begripsvorming? Ter illustratie daarvan geef ik enkele fragmenten van wat daarover in het experimentele PLON-HAVO examenprogramma¹⁰⁶ werd geschreven, bijvoorbeeld ten aanzien van het experimentele leerstofgebied 'Kracht en Beweging'. Ter motivering van de daarin gemaakte keuzen werd gezegd: *"In de context verkeer is kennis en inzicht in de mechanica voor leerlingen van belang voor veilig gedrag in het verkeer (afstand houden, op tijd remmen en met aangepaste snelheid rijden) en voor een doelmatig gebruik van veiligheidsvoorzieningen zoals bromfietshelm en veiligheidsgordel. Een ander belangrijk aspect van verkeer is het energieverbruik: op verschillende manieren is besparing op het energieverbruik in het verkeer mogelijk."*

Aan de daarna volgende leerstoflijst werden vier kolommen toegevoegd, waardoor bij elk onderdeel kon worden aangegeven of het ongewijzigd (O), aangepast (A), niet aan de orde komt (V), dan wel dat het nieuw (N) is (zie figuur 38). In deze figuur zijn, voor de overzichtelijkheid, de onderdelen van de leerstof die in het toenmalige reguliere programma voorkwamen cursief weergegeven. Wat kunnen we hieruit nu concluderen? We zien uit figuur 38 en de erbij horende toelichting, wat het betekent om een contextgebied serieus te nemen, dus werkelijk inhoud te geven aan de gekozen contexten. Dat heeft dan consequenties voor het examenprogramma.

Traditioneel belangrijke begrippen blijken daarin dan geen plaats te kunnen krijgen, terwijl andere begrippen, direct gerelateerd aan de gekozen context, daarvoor in de plaats komen. Het betekent ook dat de exameninterpretatie van andere gebruikelijke begrippen verandert, in die zin dat ze nu alleen in de gekozen contexten hoeven te

¹⁰⁶ Omdat het PLON een experimenteel project was, hoorde het ook tot zijn taak om een experimenteel examenprogramma en examen te ontwikkelen. (EPEP/HAVO, 1983).

Ontwikkelingen in natuurkundeonderwijs

Onderwerpen	O	A	V	N
- Eenparige rechtlijnige beweging; snelheid.	*			
- Willekeurige rechtlijnige beweging; gemiddelde snelheid en snelheid op een tijdstip (experimentele benadering).	*			
- Eenparig versnelde en eenparig vertraagde rechtlijnige beweging; versnelling; valbeweging; valversnelling.		*1) *3)	*2)	
- Scalaire grootheden en vectoren; optellen, aftrekken en ontbinden van vectoren; vermenigvuldigen van een scalaire grootheid en een vector.			*4)	
- Verplaatsing, snelheid en versnelling als vectoren		*4)		
- Samenstellen en ontbinden van kinematische grootbeden; horizontale worp, uitsluitend onder invloed van zwaartekracht.			*4)5)	
- Traagheidswet; massa; kracht.	*			
- Verband tussen kracht, massa en versnelling ($F=ma$).		*6)		
- Zwaartekracht; vergelijking van massa's	*			
- Actie en reactie.		*7)		
- Normale kracht; wrijvingskracht (geen wrijvingscoëfficiënt)	*			*8)
- Beweging op hellend vlak.		*9)		
- Luchtwrijving.				*8)
- Arbeid verricht door een constante kracht.	*			
- Impuls van een voorwerp (hoeveelheid beweging); $p = mv$			*10)	
- Wet van behoud van impuls.		*11)		
- Veiligheidsgordel, kreukzone, bromfietshelm				*
- Reactietijd				*
- Rendement van benzinemotor				*12)
- Kracht bij elastische lineaire vervorming			*	

- 1) Optrek- en rembeweging worden behandeld als voorbeeld van veranderlijke beweging. Benaderd als eenparig veranderlijke beweging. Geen formules als $s_t = v_0t + \frac{1}{2}at^2$ maar $v_{\text{gem}} = \frac{1}{2}v_{\text{max}}$, $s = v_{\text{gem}}\Delta t$ en $a = \Delta v / \Delta t$.
- 2) $s = \frac{1}{2}gt^2$ en $v_t = gt$ worden niet behandeld (geen betekenis in verkeerssituaties).
- 3) g wordt ingevoerd als maat voor versnelling en vertraging in verkeerssituaties.
- 4) In een aantal realistische, herkenbare bewegingssituaties worden vectoren in illustratieve zin gebruikt om richting en grootteorde van krachten aan te geven.
- 5) De horizontale worp is vervallen.
- 6) Geen aandacht besteed aan vectorrekening.
- 7) Behandeld als achterliggend principe bij stuw- en remkracht in verkeerssituaties.
- 8) Nieuw zijn wrijvingscoëfficiënt in verband met wegooppervlakken, inwendige-, rol-, en stromingsweerstand in verband met fietsen en auto's. Uit experimenten is globaal de samenhang bekend tussen (lucht)snelheid en vormkenmerken van voertuigen.
- 9) Hellend vlak is gebruikt als situatie om wrijvingsweerstand vs snelheidsmetingen in modelverkeerssituaties te onderzoeken.
- 10) Behandeld in samenhang met botssituaties: $F\Delta t = m\Delta v$; geen aandacht geschonken aan vectornotatie.
- 11) Niet expliciet genoemd; impliciet toegepast bij modelexperimenten rond verkeerssituaties.
- 12) Is behandeld in samenhang met energiegebruik in het verkeer.

Figuur 38. Representatieve selectie uit de leerstoflijst van het Experimenteel PLON Examenprogramma voor HAVO, voor wat betreft het onderwerp 'Kracht en Beweging'.

functioneren. Natuurlijk is er altijd enige discussie mogelijk over waar precies welke grens te trekken, maar de boodschap is duidelijk. Als je het idee dat ‘context leerstof is’ serieus neemt, moet dat ook tot uitdrukking komen in het examenprogramma.

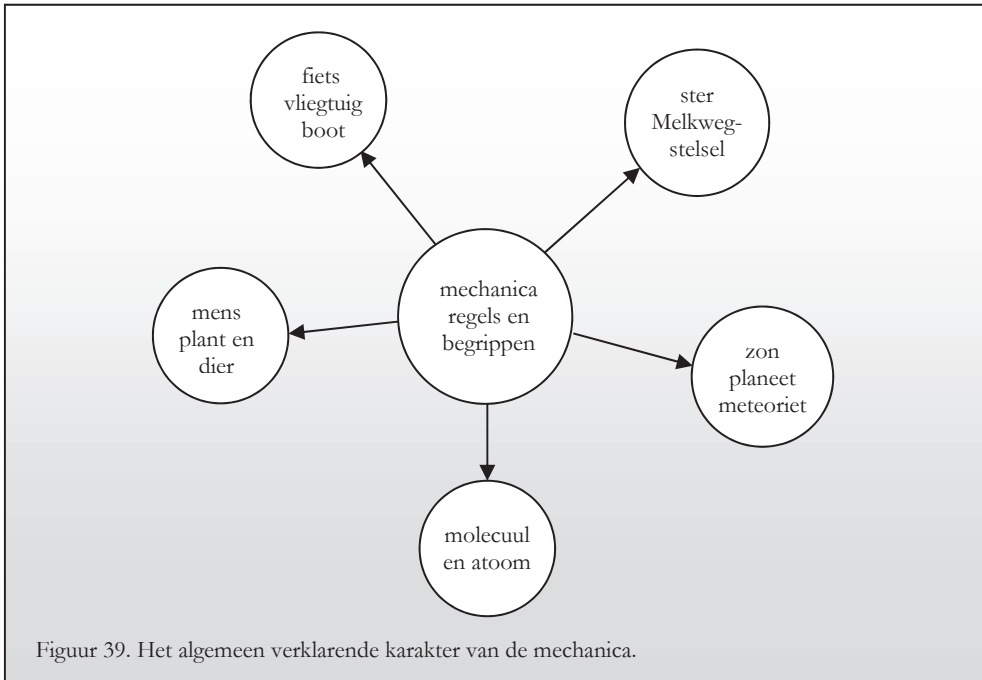
De reden hiervoor, het zij nogmaals benadrukt, was de wens om de natuurkunde relevanter te maken voor de HAVO-leerlingen, in die zin dat ze de te leren natuurkunde in de relevant geachte contexten ook zouden kunnen gebruiken. En dat laatste soms zelfs ook in hun buitenschoolse handelen. “*One could say that in the thematic PLON curriculum we have to some extent shifted the emphasis away from the generality and coherence of the theoretical knowledge of physics as a discipline, towards the functionality and relevance of this knowledge in everyday life.*”¹⁰⁷

Maar deze verandering heeft ook zijn prijs. In sloganvorm samengevat: wat je wint aan functionaliteit, verlies je aan generaliteit. Of anders gezegd, we hebben dan te maken met contextgebonden begrippen met mogelijk nog slechts beperkte wendbaarheid. Deze benadering was een behoorlijke breuk met de gebruikelijke opvatting dat het in het natuurkundeonderwijs dient te gaan om *algemeen* toepasbare begrippen. De opvatting die ten grondslag lag aan het gebruikelijke structure-of-the-discipline curriculum dat via de CMLN ook in ons land onderwezen werd. Het PLON koos er echter voor om dit uitgangspunt in ieder geval voor het HAVO los te laten. Met, scherp geformuleerd, als belangrijk argument dat het voor deze leerlingen beter is om voor hen bruikbare contextgebonden functionele kennis na te streven, dan voor hen onbruikbare contextloze algemene kennis.

Voor VWO-leerlingen werd dit laatste echter wel een noodzakelijk onderwijsdoel geacht, dat wil zeggen dat in het voorbereidend *wetenschappelijk* onderwijs naast praktische relevantie ook theoretische relevantie vorm moest krijgen. Voor fysici is de theoretische relevantie van de natuurkunde vanzelfsprekend en wordt die vooral gegeven door de algemeenheid en daardoor grote mate van toepasbaarheid van de natuurkundige basistheorieën. Zo blijkt, fysisch gezien, de relevantie van de mechanica uit het feit dat je met deze theorie *alle* bewegingen van klassieke objecten, (heel) groot of (heel) klein, veraf of dichtbij, dood of levend, in principe kunt verklaren. En als we deze *theoretische relevantie* in het onderwijs willen benadrukken, zonder haar als vanzelfsprekend te vooronderstellen, kunnen we deze illustreren aan de hand van een diverse veelheid van individuele realistische situaties, leidend tot een diversiteit aan realistische contextsituaties. Iets wat je een centrifugaal model zou kunnen noemen (zie figuur 39). Deze expliciete koppeling aan realistische situaties is nog steeds nodig om het eerder beschreven gevaar van een gesloten schools systeem te voorkomen. Er wordt dus primair uitgegaan van de te onderwijzen theorie, om daar vervolgens geschikte realistische situaties (c.q. toepassingen) bij te kiezen. In het PLON-VWO curriculum werd deze algemene wendbaarheid nagestreefd in zogenaamde ‘Blokken’, systematische (dat wil zeggen volgens de vaksystematiek gestructureerde) curriculumonderdelen, gericht op het onderwijzen van wendbare fysische basistheorie, zodat dit curriculum als geheel een thema/blok-structuur kreeg. Deze structuur was zodanig dat eerst contextgebon-

¹⁰⁷ P.L. Lijnse, K. Kortland, H.M.C. Eijkelhof, D. van Genderen & H.P. Hooymayers (1990). A thematic physics curriculum: A balance between contradictive curriculum forces? *Science Education*, 74, 95-103.

den begripsvorming in een thema aan de orde kwam, om daarna decontextualisatie, uitbreiding en generalisatie te laten plaatsvinden in een blok. Zo zijn in het overigens niet echt afgeronde VWO-curriculum twee blokken, 'Bewegingen' en 'Arbeid', ontwikkeld. Achteraf gezien, moeten we constateren dat in deze blokken toch onvoldoende aandacht is besteed aan het oproepen van een 'theoretische instelling' bij leerlingen, die nodig is om de bedoelde theoretische relevantie voldoende te kunnen waarderen¹⁰⁸.



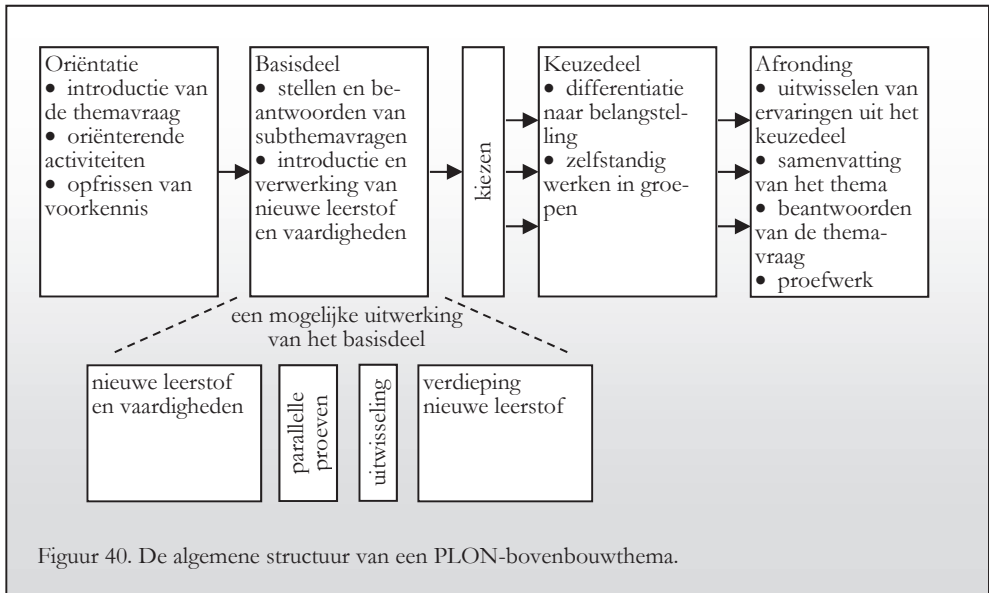
Figuur 39. Het algemeen verklarende karakter van de mechanica.

4.3.8 De structuur van een thema

Alvorens nader in te gaan op de vraag wat er nu terecht is gekomen van de pretenties van het PLON, en van het effect van contexten in het algemeen, wil ik eerst aandacht besteden aan de algemene structuur van een thema. De reden om dit te doen ligt in het feit dat onderwijsontwikkelaars die op een of andere manier vorm willen geven aan een context-conceptbenadering, ook op het concrete niveau van de vormgeving van lesmateriaal hier wellicht van kunnen profiteren. In het PLON-project is pas na langjarige ervaring een eenduidige globale themastructuur uitgekristalliseerd, die geschikt leek voor alle bovenbouwthema's. Deze structuur is overigens niet als een dwangbuis gehanteerd, zodat variaties mogelijk waren. Figuur 40 geeft deze structuur in detail weer. Door de gedetailleerde weergave is hierin niet meer direct het 'zandlo-

¹⁰⁸ In het proefschrift van Westra (zie verder) blijkt bijvoorbeeld hoe moeilijk het kan zijn om zo'n theoretische instelling inderdaad op te roepen bij leerlingen.

permodel' te herkennen. Dit houdt in dat een thema begonnen wordt met een *brede* oriëntatie, die door middel van een themavraag wordt *versmald* en toegespitst op de te verwerven natuurkundige kennis en vaardigheden. Nadat deze 'smalle' verwerving, in het basisdeel, heeft plaatsgevonden, wordt weer *breed uitgewaaierd* naar verschillende toepassingen, zoveel mogelijk aansluitend bij verschillende belangstellingen van leerlingen. In figuur 40 is ook duidelijk geïllustreerd hoe in deze thema's de eerder beschreven doelverbreding is vormgegeven, voor wat betreft verschillende vormen van differentiatie, werkvormen en algemene vaardigheden.



Deze structuur geeft dus ook weer hoe je vanuit een brede oriëntatie op het contextgebied, komt tot focussing op de concepten die in het thema centraal komen te staan voor de beantwoording van de themavraag. Deze concepten worden vervolgens weer op diverse aspecten van het contextgebied toegepast, zodat dit zo goed mogelijk overdekt wordt. Daarmee lijkt deze globale structuur dus inderdaad ook een goed startpunt voor de vormgeving van CCB-onderwijs, al zal in de huidige tijdgeest minder aandacht zijn voor de doelverbredende, algemeen didactisch gemotiveerde, variatie aan werkvormen. Maar uit deze structuur volgt ook een belangrijk verschil met de eerder gegeven CCB-beschrijving. In deze beschrijving ging het immers om contexten als middel voor het beter begrijpen van kernconcepten. Terwijl uit de themastructuur duidelijk wordt dat de te leren concepten niet alleen volgen uit de context, maar daar ook aan gebonden blijven. Kortom, zoals al beschreven, het uitgangspunt is principieel anders. Dit wordt hopelijk nog duidelijker wanneer we deze algemene structuur, als voorbeeld, toelichten met de inhoud en opbouw van het thema 'Verkeer'¹⁰⁹.

¹⁰⁹ Vrij ontleend aan de inhoud en samenvattingen van de themahoofdstukken.

PLON-thema Verkeer

Hoofdstuk 1. Oriëntatie

1.1. Verkeer en natuurkunde

1.2. Uit de geschiedenis van het verkeer

1.3. Verkeer in Nederland

1.4. De opzet en vragen van het thema 'Verkeer'

- Welke factoren zijn van belang voor veiligheid in het verkeer?

- Welke factoren zijn van belang voor zuinigheid in het verkeer?

Om aan deze vragen te kunnen werken, moeten we ons eerst verdiepen in een meer algemene vraag:

- Welke krachten beheersen de bewegingen in het verkeer?

Hoofdstuk 2. Bewegingen en krachten in het verkeer

Welke krachten beheersen de bewegingen in het verkeer? Dat is in dit hoofdstuk de centrale vraag, die we kunnen uitsplitsen in vragen als:

- Welke krachten werken je beweging tegen als je fietst?

- Hoe zit dat bij een auto, een schip of een vliegtuig?

- Van welke factoren hangt de grootte van die tegenwerkende krachten af?

- Hoe komen de voortstuwende krachten tot stand?

- Wat voor invloed heeft de zwaartekracht op de beweging?

2.1. Afstand, tijd en snelheid

2.2. Snelheidsmetingen

2.3. Vertraging en versnelling

2.4. Tegenwerkende krachten

2.5. Voortstuwende krachten

2.6. De invloed van de zwaartekracht

2.7. Traagheidseffecten

2.8. Krachten bij de eenparige rechtlijnige beweging

2.9. Remvertraging en remmende kracht

Hoofdstuk 3. Veilig rijden

In dit hoofdstuk begin je met te ontdekken wat zo'n beetje de grenzen zijn, waar je als kwetsbaar en traag mens aan gebonden bent. Via een paar eenvoudige proefjes leer je iets over de grootte-orde van je mogelijkheden en beperkingen. Daarna kun je kiezen uit een aantal onderzoeken over remmen en botsen. Daarbij onderzoek je de precieze invloed van de beginsnelheid, massa en remkracht op de remweg van een voertuig, betzij in 'echte' verkeerssituaties, betzij in een 'laboratoriumsituatie'. Een belangrijk onderscheid daarbij is de grootte van de meetonzekerheden.

3.1. De mens in het verkeer

3.2. Onderzoek en meetonzekerheid

3.3. Remmen op de fiets

3.4. Remmen in een 'laboratoriumsituatie'

3.5. TNO-botsingsonderzoek

3.6. Botsen in een 'laboratoriumsituatie'.

Hoofdstuk 4. Zuinig rijden

Zuinig rijden betekent: de tegenwerkende krachten zo klein mogelijk houden. Die tegenwerkende krachten ga je in dit hoofdstuk onderzoeken. Daarbij gaat het vooral om rolwrijving en luchtweerstand. In paragraaf 4.6. wordt het onderzoek uitgebreid tot 'zuinig varen'.

Na de inleidende paragraaf 4.1 over 'rolwrijving en luchtweerstand' werk je in groepen aan het onderzoek uit

één van de paragrafen 4.2 t/m/ 4.6. Aansluitend op het onderzoek rapporteer je aan je medeleerlingen over de resultaten, en je luistert naar hun rapportages over het onderzoek dat zij verricht hebben.

- 4.1. Rolwrijving en luchtweerstand
- 4.2. Rolwrijving bij fietsen
- 4.3. Totale weerstand bij fietsen
- 4.4. Benzineverbruik van een bromfiets
- 4.5. Luchtweerstand bij een auto
- 4.6. Stromingsweerstand bij een schip

Hoofdstuk 5. Prestaties

Verkeer kost energie. Energie die je zelf levert met je spieren of die je door een motor laat leveren. In dit hoofdstuk gaat het vooral om de vraag: van welke factoren hangt die benodigde hoeveelheid energie af?

Het antwoord op deze vraag ligt voor een deel al opgesloten in wat je in voorgaande hoofdstukken te weten bent gekomen over de tegenwerkende krachten. Aan het begrip kracht zullen we twee nieuwe begrippen koppelen: arbeid en vermogen. Met behulp daarvan kun je de prestaties van mensen of machines vergelijken.

- 5.1. De verrichte arbeid
- 5.2. Het benodigde vermogen
- 5.3. De overbrenging van snelheid en kracht
- 5.4. Brandstofverbruik en rendement
- 5.5. Acceleratievermogen en remvermogen

Hoofdstuk 6. Bewegingstheorie.

In dit hoofdstuk gaan we de belangrijkste begrippen en regels uit het voorgaande samenvatten, met een kleine uitbreiding in 6.4. Ook zullen we nagaan hoe goed of slecht de resultaten van je proeven uit hoofdstuk 3 overeenstemmen met de theorie.

De geldigheid van de theorie is niet beperkt tot bewegingen in het verkeer. De hier besproken begrippen en regels gelden ook voor bewegingen in de sport, zoals die van een tennis- of voetbal, en zelfs voor hemellichamen zoals de maan en de planeten. De bewegingen van hemellichamen en van vallende voorwerpen brachten de onderzoekers op het spoor van algemene wetmatigheden.

- 6.1. Het traagheidsprincipe
- 6.2. Het versnellingsprincipe
- 6.3. Het actie-reactieprincipe
- 6.4. Stoot en impuls
- 6.5. Arbeid en kinetische energie
- 6.6. Overzicht van begrippen en relaties

Hoofdstuk 7. Opgaven

1. Voorschriften voor remvertraging; 2. Afstand houden; 3. De stopafstand van een auto; De geel-licht-periode bij een stoplicht; 5. Resultaten van een fietsremproef; 6. Wrijvingscoëfficiënt en remweg; 7. Rijden door een bocht; 8. De sleepkabel; 9. Een hond op schoot; 10. Onderzoek aan botsingen; 11. De bromfietshelm; 12. Vermogen en rendement van een bromfietsmotor; 13. Tegenkrachten bij het fietsen; 14. Fietsen op een helling; 15. Aerodynamisch vermogensverlies; 16. Tegenkrachten bij een schip; 17. Energiegebruik bij verschillende soorten transport.

Hoofdstuk 8. Verkeersonderzoek naar keuze

In hoofdstuk 1 was al aangekondigd dat we ons in het gemeenschappelijk deel van dit thema voornamelijk zouden richten op natuurkundige aspecten van verkeer, en minder op technische of maatschappelijke. Daar zou je nu wat meer aan kunnen doen. Je kunt natuurlijk ook wat dieper ingaan op iets uit het voorgaande dat je interesse heeft opgewekt. Hieronder geven we een aantal suggesties.

Ontwikkelingen in natuurkundeonderwijs

1. Openbaar vervoer en brandstofverbruik; 2. Verkeerslicht-afstelling en verkeersaanbod; 3. Vermogensmeting met een trimfiets; 4. Overbrengingsverhoudingen bij het fietsen; 5. Wrijving tussen band en wegdek; 6. Aquaplaning; 7. Botsingswetten; 8. Lucht-draagkrachten op auto's.

Deze beschrijving geeft weer dat verkeerssituaties overall in het thema uitgangspunt zijn geweest voor de behandeling van regels en concepten uit de mechanica. Er is gepoogd recht te doen aan de themavragen en op grond hiervan kunnen we nu ook het voorgestelde examenprogramma begrijpen en waarderen. Dit wijst ook op het belang van speciale aandacht voor 'toetsen in context'. Een speciaal kenmerk van goed contextonderwijs is dat ook de toetsen daaraan recht doen, en dat is lang niet altijd gemakkelijk. Ik wil dat illustreren met twee voorbeelden van de opgaven uit hoofdstuk 7 van het thema Verkeer.

4. DE GEEL-LICHT-PERIODE BIJ EEN STOPLICHT

Je hebt een baan gevonden bij een verkeersdienst. Daar moet je voor een nieuwe stoplichtinstallatie de tijdsduur van de geel-licht-periode bepalen. Om dat goed te kunnen, moet je twee dingen berekenen:

- de stopafstand van een auto bij normaal remmen als deze met de maximumsnelheid komt aanrijden;
- de tijd die de auto nodig heeft om over het kruispunt heen te komen als de bestuurder ziet dat hij/zij niet meer normaal kan stoppen als het licht op geel springt.

Voor de oplossing van het probleem heb je de volgende gegevens:

- de remvertraging van een auto bij normaal remmen is $5,0 \text{ m/s}^2$;
- de maximumsnelheid is 50 km/h ;
- de reactietijd van een gemiddelde automobilist is $0,7 \text{ s}$;
- de breedte van de over te steken straat is 20 m .

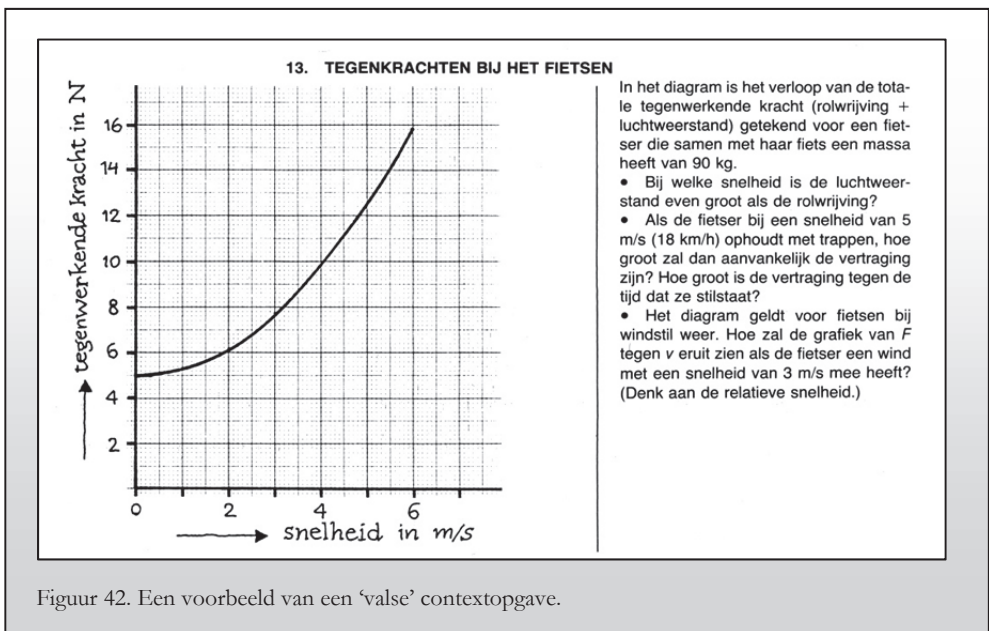
- Laat met een berekening zien, dat de stopafstand van een auto bij normaal remmen 29 m bedraagt (bij de maximumsnelheid).
- Veronderstel nu dat een auto 29 m van het stoplicht af is, als het op geel springt. Uit ervaring weet de bestuurder dat hij nog net normaal kan stoppen. De meeste automobilisten zullen in zo'n geval besluiten om dóór te rijden. Veronderstel dat de automobilist zijn snelheid niet verhoogt. Hoe lang doet de auto er dan over om vanaf het moment dat het licht op geel springt naar de andere kant van het kruispunt te komen?
- Hoe lang moet de geel-licht-periode minstens duren volgens jou?
- Geef twee redenen om de geel-licht-periode langer te maken dan je hiervoor hebt opgeschreven.



Figuur 41. Een voorbeeld van een goede contextopgave.

Allereerst vallen dan enkele 'voorggrondkenmerken' op. Het gaat om realistische situaties, waar iets mee gedaan moet worden. De opgaven zijn voorzien van een titel, die bedoeld is om de aandacht te richten. Een simpele, maar belangrijke toevoeging. Daarnaast blijkt er veel taal nodig te zijn, zeker als je dit vergelijkt met de 'kale' opga-

ven van figuur 32. Helaas is dit een onvermijdelijk aspect van het gebruik van contexten. Realistische situaties zijn meestal redelijk complex en moeten vanuit de relevante optiek helder beschreven worden. De eerste opgave (figuur 41) is voor mij een voorbeeld van een geslaagde contextopgave. Er is een vraag die moet worden opgelost door de te toetsen contextgerelateerde kennis op een nieuwe verkeerssituatie toe te passen. En daarmee wordt ook die nieuwe situatie tot zinvolle context. Er is door het oplossen van de vraag ook iets nieuws geleerd over een relevante situatie. De tweede opgave (figuur 42) is in dat opzicht veel minder zinvol. In feite gaat het daarin vooral om het kunnen lezen en interpreteren van een grafiek. Dat is op zich heel belangrijk, maar de context is daarvoor irrelevant. Alleen de derde deelvraag zou contextrelevantie kunnen krijgen, maar dat is niet echt uitgewerkt. Daarom noem ik dit een ‘valse’ context. Ik beschrijf dit in enig detail omdat dit een kernprobleem is voor het toetsen in context. De context in een toetsopgave moet meer zijn dan alleen maar (soms vooral afleidende) versiering, zij moet een functionele rol spelen. En daarom is het ook niet nodig dat alle toetsopgaven betrekking hebben op complexe realistische situaties, maar kunnen deze afgewisseld worden met kleinere meer toegespitste vragen en modelopgaven, gericht op het direct toetsen van kennis van begrippen en relaties.



4.3.9 Problemen met contextrijk onderwijs

Het voorgaande moge de essentie illustreren van hoe in het PLON-project gewerkt is aan ‘contextrijk’ natuurkundeonderwijs. In ons land is er, naast waardering voor, ook veel kritiek geweest op deze aanpak. Internationaal was het PLON hiermee echter toonaangevend, zoals moge blijken uit een recent artikel van Gunstone waarin hij het PLON-project beschrijft, omdat: “*It is chosen here to represent context-based physics curricula*

because it has been the leader in this focus."¹¹⁰ Desalniettemin valt er natuurlijk van alles op aan te merken, of, positiever geformuleerd, van te leren. Bijvoorbeeld, door een aantal problemen te beschrijven dat zich heeft voorgedaan bij de PLON-ontwikkeling, maar, los daarvan, inherent lijkt te zijn aan contextrijk onderwijs of een contextrijk curriculum.

1 Het gevaar van 'teveel woorden'¹¹¹ – Zo is bij de bespreking van de opgaven al opgemerkt dat er 'veel woorden' nodig waren. Dit is echter een algemeen kenmerk van contextrijk onderwijs waar moeilijk aan te ontkomen valt. Weliswaar kan dit enigszins worden gecompenseerd door het veelvuldig gebruik van illustraties (al of niet met digitale ondersteuning), maar het blijft een feit dat taalzwakke leerlingen (met name allochtonen) hierdoor tegen extra problemen kunnen aanlopen.

2 Het gevaar van teveel complexiteit en details – Daarnaast is er het gevaar dat, wil je recht doen aan een thema, het snel te complex wordt en overladen met details. De realiteit is nu eenmaal complex en, zeker als het gaat om techniek, beperking tot het onderliggende natuurkundige werkingsprincipe doet daaraan vaak nauwelijks recht.

3 Het gevaar van tijdgebrek – Aansluitend bij het voorgaande, vanwege de wens om zoveel mogelijk recht te doen aan een gekozen thema is er het continue gevaar van overladenheid en tijdnood. Altijd zijn er immers zaken te noemen die toch eigenlijk ook aan bod zouden moeten komen. En dit staat dus wel in schril contrast tot de mening van de Profielcommissies die, zoals beschreven, in de CCB juist een mogelijkheid zien om overladenheid te voorkomen.

4 Het gevaar van modegevoelige thema's – Als je wilt aansluiten bij de persoonlijke of maatschappelijke leefwereld van leerlingen, dan houdt dat het voordeel in van aansluiting bij de actualiteit, maar daarmee tevens het gevaar van tijdsafhankelijkheid. Zo waren zaken als de Brede Maatschappelijke Energiediscussie, of de dreiging van een kernoorlog en de ramp van Chernobyl, in de jaren tachtig belangrijke actuele onderwerpen, die inmiddels die actualiteit grotendeels verloren hebben. Nu zou er meer aandacht zijn voor duurzaamheid en 'groene' energie. Niet alleen zou de kleurrijke LED-lamp de aandacht voor de gloeilamp grotendeels verdringen, maar ook zou een thema als 'Elektronica' volledig geüpdatet moeten worden, etc. Ofwel, een contextrijk programma vraagt voortdurende aanpassing aan de actualiteit, iets wat je, zoals gezegd, natuurlijk juist ook als een sterk punt van zo'n programma kunt zien. Echter, dit soort tijdsgebondenheid vraagt, juist voor een vak als natuurkunde, waarvan het programma, traditioneel gezien, immers grotendeels bestaat uit 'tijdloze' begrippen, wel om een omslag in het denken.

5 Het gevaar van te weinig keuzevrijheid voor docenten – De gegeven themastructuur beschrijft hoe, uitgaande van de oriëntatie en themavraag, er een gestructureerde ontwikkeling van kennis en vaardigheden plaatsvindt, die uiteindelijk tot de beantwoording van de themavraag moet leiden. Daarin zit ook een inpassing van parallelle

¹¹⁰ R. Gunstone (2004). *Physics education past, present and future: An interpretation through cultural contexts*. In: Y. Park (Ed.), *Teaching and Learning of Physics in Cultural Contexts*. Singapore: World Scientific Publishing Co.

¹¹¹ Een variant op het 'teveel noten' wat de Oostenrijkse keizer eens tegen Mozart gezegd zou hebben na de uitvoering van een van zijn opera's.

en vrije keuzeactiviteiten voor leerlingen. Zo'n gestructureerde uitlijning beperkt echter de didactische vrijheid van docenten om het thema naar eigen goeddunken te onderwijzen. Een dilemma dat zich uiteraard voordoet bij alle lesmateriaal dat didactisch niet 'neutraal' is vormgegeven. Naarmate meer werk wordt gemaakt van een didactisch zorgvuldige uitlijning, zowel qua begrips- en vaardigheidsontwikkeling, als qua te gebruiken activiteiten en werkvormen, wordt de vrijheid van docenten, althans van diegenen die het betreffende lesmateriaal op een authentieke wijze willen gebruiken, dienovereenkomstig ingeperkt.

6 Het gevaar van verwaarlozing van een goede begripsontwikkeling – In een 'gewoon' leerboek ligt alle nadruk op de te leren concepten. Daar kan alle aandacht naar uitgaan. Maar in contextrijk onderwijs vraagt de complexe context zelf ook aandacht. Het kan dan zelfs zo zijn dat de verhaallijn van een thema dreigt te worden onderbroken als teveel incidentele aandacht uitgaat naar het in alle benodigde omvang behandelen van een specifiek begrip. De laatste decennia is er veel didactische aandacht geweest voor begripsproblemen van leerlingen die enerzijds hun oorsprong hadden in een met de natuurkunde conflicterende verwoording van intuïties (zie hoofdstuk 8), en anderzijds in een begripsforcerende didactiek. Contextrijke behandeling in thema's kan zowel het eerste versterken, omdat door de aansluiting bij de leefwereld niet alleen de intuïties omtrent de aan de orde zijnde begrippen nadrukkelijk worden opgeroepen maar zelfs nog kunnen worden versterkt door intuïties omtrent de contexten zelf, alsook het tweede, omdat er immers nog meer in dezelfde tijd moet worden gedaan. Kortom, contextrijk onderwijs vraagt niet minder, maar juist meer aandacht voor een goede didactische planning van de begripsontwikkeling bij leerlingen.

7 Het gevaar van te weinig samenhang – Dit is een gevaar dat speelt op curriculum-niveau. Wat is voor leerlingen de samenhang in een thematisch curriculum? Uit de titels volgt dat niet zonder meer. Des te belangrijker om qua themastructuur eenheid te creëren, maar vooral dat er curriculumlijnen worden getrokken voor wat betreft begrips- en vaardigheidsontwikkeling en ten aanzien van het 'beeld van de natuurkunde'. Ook regelmatige reflectiemomenten kunnen hieraan bijdragen.

8 Het gevaar van gebrek aan legitimatie van keuzen – Dit gevaar is inherent aan de keuze van contexten en contextgebieden. Elke keuze voor contexten houdt een zekere mate van willekeur en toeval in en daardoor het gevaar van gebrek aan draagvlak. Vandaar het belang om de vraag te beantwoorden op grond waarvan gezegd kan worden dat gemaakte keuzen van contextgebieden inderdaad een afgewogen curriculum vormen. Uiteindelijk kan alleen, door uitgangspunten en keuzen zo goed mogelijk te omschrijven en te motiveren, en daar in een vroeg stadium belangrijke 'stakeholders' in te betrekken, in discussie met hen geprobeerd worden deze keuzen breed te legitimeren.

9 Het gevaar van didactische fricties – De vormgeving van natuurkunde *in context* zal echter altijd onderhevig zijn aan zekere didactische fricties, vanwege het simpele feit dat het gaat om het *vak natuurkunde* in context en dat het dus herkenbaar moet blijven als natuurkundecurriculum. Dit was ook bij het PLON het geval, want, ook al werd daar zoveel mogelijk uitgegaan van context als doel, dit kon juist vanwege voorgaand argument, toch niet onbeperkt worden uitgewerkt. Die frictie zal dus des te meer voelbaar zijn in een CCB, waarbij context alleen middel is. Ik kan deze frictie weer

illustreren aan de beschreven inhoud van het thema ‘Verkeer’. Iemand die de themavragen naar factoren die van belang zijn voor veiligheid en zuinigheid in het verkeer serieus neemt, zal aan allerlei zaken denken, maar in eerste instantie zeker niet aan de vraag welke krachten de bewegingen in het verkeer beheersen. Veeleer ligt het voor de hand om te denken aan factoren die het menselijk gedrag bepalen en aan hoe dat kan worden beïnvloed. En is het dan niet zo dat, als je dat gedrag wilt beïnvloeden, je je vooral moet richten op het geven van directe praktische richtlijnen? Het is zeer de vraag of inzicht in krachten die bewegingen in het verkeer beheersen, daar ook werkelijk een bijdrage aan kunnen leveren. Immers, zou het werkelijk zo zijn dat fysici zich veiliger en zuiniger gedragen in het verkeer, of bewuster omgaan met energie, omdat zij de daarvoor relevante fysische kennis in huis hebben? In feite wordt in een thema als ‘Verkeer’ toch de theoretische relevantie van de natuurkunde, namelijk het geven van verklarend inzicht al is dat beperkt tot een contextgebied, gebruikt onder het mom van praktische relevantie. En dat wringt, hoe je ook je best doet om het aannemelijk te maken voor leerlingen! Leerlingen moeten voor hen bekende verkeerssituaties, waarin ze, op grond van hun ervaringskennis eigenlijk best weten hoe ze moeten handelen, nu op een ‘wereldvreemde’ manier leren beschrijven en verklaren met natuurkundige regels en begrippen. Terwijl het onduidelijk blijft in hoeverre ze met die kennis nu ook werkelijk hun praktisch handelingsrepertoire uitbreiden. Kortom, het zal voor hen in de eerste plaats blijven gaan om het leren van natuurkunde, al kan de te ervaren praktische relevantie daarvan inderdaad zijn toegenomen. Dit is een kernprobleem van alle ‘context-based’ natuurkundeonderwijs. Ondanks alle retoriek, gaat het wel om natuurkunde en voor leerlingen is dat snel duidelijk.

Deze problematiek is in meer of mindere mate te herkennen in de beschreven thema’s, al speelde die problematiek niet in elk thema even sterk. In een thema als ‘Weersveranderingen’, wat immers ging over natuurverschijnselen, is de natuurkundige toespitsing heel natuurlijk. Maar in een thema als ‘Energie en Kwaliteit’, waarin het maatschappelijke energieprobleem centraal stond, doet het zich in alle hevigheid voor. Vanwege de natuurkunde moest er aandacht zijn voor allerlei abstracte energiesoorten die in elkaar kunnen worden omgezet met als klapstuk energiebehoud, terwijl de energieproblematiek veeleer vraagt om zuinig om te gaan met de beperkte hoeveelheid olie en gas, omdat die bij gebruik nu eenmaal onvermijdelijk verbruikt wordt.

Het feit dat deze frictie zich niet bij alle thema’s in even sterke mate voordeed, heeft, behalve met de keuze van contextgebieden, ook te maken met de structuur van de natuurkunde zelf. Ik doel hier op het onderscheid tussen natuurkundige basistheorieën, zoals mechanica, elektromagnetisme, trillingen en golven, thermodynamica, statistische mechanica, quantummechanica, en domeintheorieën als vaste stoffysica, atoom- en kernfysica, astrofysica, geofysica, biofysica. De basistheorieën pretenderen alle bewegingsverschijnselen, alle elektromagnetische verschijnselen, alle golfverschijnselen, etc. te beschrijven, onafhankelijk van welke objecten daarbij betrokken zijn (klassiek gesproken). Maar de domeintheorieën focuseren juist op kennis van bepaalde objecten, door gebruik te maken van alle relevante basistheorie. Om een simpel voorbeeld te geven, de atoomtheorie van Bohr gebruikt zowel mechanica, golven, als elektromagnetisme om de structuur van atomen te beschrijven. Of anders gezegd, deze atoomtheorie is een contextgebied van de relevante basistheorie.

Het aan contextrijk onderwijs verbonden probleem van ‘verlies aan generaliteit’ doet zich dus mogelijksterk gevoelen bij het onderwijzen van de basistheorieën, maar nauwelijks bij het onderwijzen van de domeintheorieën. En dat is ook aanwijsbaar in de thema’s en blokken van de PLON-curricula.

Samenvattend kunnen we concluderen dat contextrijk natuurkundeonderwijs, zoals vormgegeven door het PLON, een aantal potentieel sterke en nieuwe mogelijkheden had en heeft, maar tevens dat het zeker geen probleemloze remedie is voor de talrijke onderwijsproblemen die er waren en zijn. Laten we daarom nu nader ingaan op hoe er sindsdien met de PLON-ervaring is omgegaan.

4.3.10 Implementatie van contextrijk natuurkundeonderwijs

Het NINA-voorstel voor een context-conceptbenadering heeft in eerste instantie veel weerstand opgeroepen waarbij de belangrijkste ‘beschuldiging’ inhield dat er sprake zou zijn van een vorm van ‘staatsdidactiek’. Eigenlijk was dit voorspelbaar, want precies hetzelfde vond plaats tijdens en na het PLON-project. Ook toen was er zowel sprake van een groep fervente aanhangers, als van een groep fervente tegenstanders. Een belangrijke kern van deze weerstand, zowel toen als nu, richt zich op de vraag hoe om te gaan met ‘verplichte’ contexten, met name in het eindexamen en bijbehorend programma. Zolang het project in een experimenteel stadium verkeerde en, vanwege de van hogerhand gereguleerde beperkte deelname aan het eigen eindexamen, vrijwillige deelname beperkt was tot een relatief klein aantal scholen, werd dit probleem niet acuut. Maar dat werd het wel toen, na afloop van het project, de vraag werd gesteld of en hoe contextrijk natuurkundeonderwijs nu ook op grotere schaal zou kunnen, of zelfs moeten worden geïmplementeerd. Het beantwoorden hiervan werd in feite door de officiële beleidsmakers uitbesteed aan diegenen die moesten adviseren over een nieuw examenprogramma, in casu: de Werkgroep Examenprogramma’s Natuurkunde (1988). Zoals al beschreven in hoofdstuk 2 nam de WEN in haar overwegingen veel van het ‘PLON-gedachtengoed’ over. Zo schreven ze onder het kopje “Naar meer natuurkundige kennis in context” het volgende: *“Natuurkundige regels (wetten, principes, definities, modellen, methoden) dienen bij voorkeur te worden aangeleerd en toegepast in situaties die de leerling kan herkennen. Dit kunnen situaties zijn die de leerling kan plaatsen omdat hij/zij deze reeds eerder is tegengekomen in zijn/haar directe omgeving, of er van gehoord of gelezen heeft. Deze situaties vormen de context voor de natuurkundige regels. Op deze wijze krijgt de nieuwe kennis een zinnvolle betekenis waardoor deze beter beklijft.”*

Van Genderen (zie eerder) zal hierover ongetwijfeld heel tevreden zijn geweest, mogen we aannemen, maar wat betekende dit nu verder voor het examenprogramma? Want uiteindelijk zit de ‘proof of the pudding in the eating’! Laten we daartoe, uit het oogpunt van vergelijking met het PLON-examen, kijken naar wat de WEN zei over contexten in het HAVO-programma. De beschrijving van hun leerstoflijst bestond uit drie kolommen. De betekenis daarvan was als volgt: In de eerste kolom stond de theorie: begrippen, wetten, relaties, apparaten. In kolom 2 stonden de zogenoemde contextbegrippen. Hierbij konden schoolse contextbegrippen, zoals apparaten en proe-

Ontwikkelingen in natuurkundeonderwijs

ven, genoemd worden die in klassensituaties een rol spelen bij de behandeling van de theorie. Verder zijn ook buitenschoolse contextbegrippen opgenomen, waarmee praktijksituaties konden worden aangeduid. De contextbegrippen uit kolom 2 werden op het examen bekend verondersteld. Deze mochten op het examen zonder nadere uitleg gebruikt worden. Echter, de fysische werking van apparaten uit kolom 2 hoefde niet gekend te worden, alleen hun functie. Als van een apparaat ook de fysische werking bekend moest zijn, dat was dit opgenomen in kolom 1. Kolom 3 werd zo nodig ge-

Theorie	Contextbegrippen	Toelichting
01 Plaats, verplaatsing, plaatsfunctie, afgelegde weg	- tijdtikker - luchtkussenbaan - (stroboscopische) foto's	
02 Gemiddelde snelheid, snelheidsfunctie, snelheid op een bepaald tijdstip	- zie 01	- bepaling $\langle v \rangle$ uit het (x,t) -diagram - betekenis opp onder het (v,t) -diagram - globale verloop van het (v,t) -diagram kunnen afleiden uit het (x,t) -diagram - geen bepaling van de snelheidsfunctie uit de plaatsfunctie door differentiëren
03 Gemiddelde versnelling, versnelling		- geen bepaling van $a(t)$ uit het (v,t) -diagram, tenzij a constant is
04 Kracht (scalair en vectorieel), resultante van krachten, componenten van een kracht	- krachtmeter	- constructie van componenten in twee richtingen; berekeningen alleen bij twee onderling loodrechte componenten
05 Traagheid, traagheidsbeginsel, massa (1 ^e wet van Newton)	- zie 01 - veiligheids gordels - kreukzone, kooiconstructie, hoofdsteen	
07 Actie en reactie (3 ^e wet van Newton)	- zie 05	
08 Rechthoekige beweging met constante snelheid	- eindfase vrije val met wrijving	- uit het (x,t) -diagram de plaatsfunctie kunnen bepalen
09 Rechthoekige beweging met constante versnelling, valversnelling	- zie 01 - bepaling g - veilige afstand - remweg - remvertraging - wrijvingsloze val	- uit het (v,t) -diagram de snelheidsfunctie kunnen bepalen - uit het (a,t) -diagram de snelheidsverandering tussen twee tijdstippen kunnen bepalen
10 Zwaartekracht, normaalkracht, wrijvingskracht, veerkracht, spankracht	- lucht wrijving, rolwrijving, schuifwrijving - beweging en rust op een hellend vlak	- beweging op hellend vlak onder invloed van zwaartekracht en wrijving

Bij de te kennen formules staan, onder andere, de uitdrukkingen:
 $\langle v \rangle = \Delta x / \Delta t$; $\langle a \rangle = \Delta v / \Delta t$; $x(t) = x(0) + vt$; $x(t) = x(0) + v(0)t + \frac{1}{2}at^2$; $v(t) = v(0) + at$;
 $F\Delta t = m\Delta v$

Figuur 43. Selectie uit de WEN-HAVO-leerstoflijst voor mechanica.

bruikt voor nadere toelichting op elementen uit de beide andere kolommen. Figuur 43 geeft een representatieve selectie uit de WEN-HAVO-leerstoflijst voor het onderwerp mechanica.

Uit vergelijking van figuur 38 en 43 blijkt, denk ik, duidelijk dat de WEN tussen Scylla en Charybdis door heeft willen manoeuvreren, en daarbij zowel de kool als de geit heeft willen sparen. Zo is er wel gekozen voor ‘meer natuurkunde in context’, maar nadrukkelijk niet voor ‘natuurkunde in contextgebieden’, ofwel voor een thematisch programma. Zo zijn er ook geen contexten genoemd, maar uitsluitend contextbegrippen, waarvan overigens alleen de functie bekend moest zijn. Zo kun je bijvoorbeeld de functie van veiligheidsgordel, kreukzone en kooiconstructie behandelen, als ‘losse’ toepassingen van de formule $F\Delta t = m\Delta v$, zonder dit vanuit een expliciete thematische veiligheidsoptiek te doen. Tegelijkertijd was het natuurlijk zo dat de voorstanders van zo’n thematische optiek, dat ook gewoon konden doen. Zij moesten alleen wat verder gaan dan gebruikelijk in de formele wiskundige uitwerking van zo’n thema. Kortom, door deze uitwerking nam de WEN de wind uit de zeilen van zowel voor- als tegenstanders, ieder kon gewoon zijn gang gaan, en het voorschrijven van ‘staatsdidactiek’ was vermeden. Al ging dit natuurlijk wel ten koste van de vernieuwende potentie van hun programma. De enige uitzonderingen waarin de WEN verder ging dan contextbegrippen betroffen, het zal u na wat ik hierboven heb geschreven niet verbazen, twee domeintheorieën, te weten: fysische informatica en kernfysica.

De aandacht voor contextrijk onderwijs is met name ook sterk gestimuleerd door het schriftelijk eindexamen, waarin de opgaven geleidelijk aan steeds meer als contextopgaven werden geformuleerd. Figuur 44 geeft een voorbeeld uit het VWO-examen in 2000.

Na de vaststelling van het examenprogramma was voor de implementatie van contextrijk natuurkundeonderwijs het woord aan de methodeschrijvers. Voor de implementatie van de PLON-aanpak is vooral de oprichting van een gebruikersvereniging belangrijk geweest. Dankzij de PLON-Vereniging is er uiteindelijk een ‘gewone’ leerboek bovenbouwversie van ‘fysica in thema’s’ verschenen, onder de titel ‘Interactie’, bij een commerciële educatieve uitgeverij (NIB/Thieme). Tenslotte is dat in ons land de geëigende manier waarop nieuwe ideeën vaste voet kunnen krijgen in het onderwijs. Andere methoden, zoals ‘Systematische Natuurkunde’ van Middellink et al. (Nijgh/Verluis) gaven een, vanuit de contextoptiek gezien, minimalistische uitwerking aan het WEN-programma, terwijl een methode als ‘Natuurkunde Overal’ van Hogenbirk et al. (Educaboek/EPN), er in slaagde een succesvolle middenweg te bewandelen. Bij mijn weten is er nooit systematisch onderzoek gedaan naar de directe implementatie van de PLON-methode ‘Interactie’, maar het zou me verbazen als deze ooit meer dan ruwweg 5% van de markt heeft weten te halen. Toch is de aandacht voor ‘contextrijk’ sindsdien niet meer weg te denken.

4.3.11 Kritiek op contextrijk natuurkundeonderwijs

De genoemde examentrend is overigens niet onopgemerkt gebleven. Zo gaven een viertal prominente fysici, in 2000, het onderstaande commentaar op het natuurkunde-

Opgave 5 Grot

De Gemeentegrot in de Limburgse plaats Valkenburg dreigt langzaam in te zakken onder de last van het gesteente dat zich boven de grot bevindt. Vanwege de toeristische waarde van de grot is besloten een permanent meetsysteem in de grot aan te laten brengen, waarmee het dalen van de plafonds nauwlettend in de gaten wordt gehouden.

Het meetsysteem bestaat uit een aantal massieve, roestvrij stalen, cilindervormige kolommen die tussen plafond en vloer worden ingeklemd.

Op de zijkant van elke kolom zijn meetinstrumenten aangebracht.

Elk meetinstrument bestaat in hoofdzaak uit een roestvrij stalen snaar met in het midden een trillingssensor. Zie figuur 9. De snaar is verticaal ingespannen tussen twee blokjes die vast aan de stalen kolom zijn gemonteerd. Vlak voor de snaar bevindt zich een elektromagneet.

Een wisselspanning op de elektromagneet brengt de snaar in trilling.

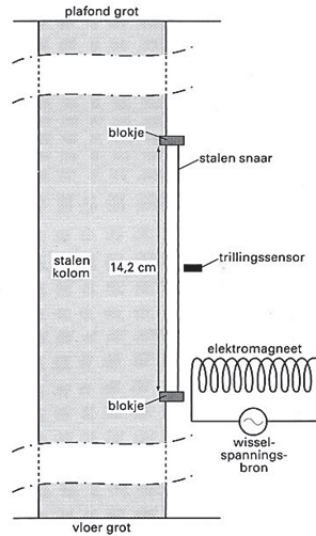
De trillingssensor levert een spanning die recht evenredig is met de maximale snelheid van het middelpunt van de snaar. De frequentie van de wisselspanning op de elektromagneet wordt steeds zó gekozen, dat de snaar resonanceert.

De spanning die de trillingssensor afgeeft, is bij resoneren op zijn grootst.

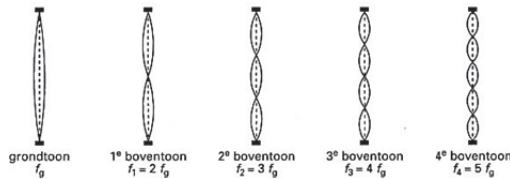
Behalve de grondtoon zal de snaar tegelijkertijd ook „boventonen” voortbrengen.

In figuur 10 zijn de trillingstoestanden van de grondtoon en van de eerste vier boventonen schematisch weergegeven.

figuur 9



figuur 10



3p 16 □ Bereken welke van de eerste vier boventonen zorgt (of zorgen) voor een spanning aan de uitgang van de trillingssensor.

Om nauwkeurig te kunnen meten, mag de spanning die de trillingssensor afgeeft ten gevolge van de tweede boventoon niet meer dan 1% bedragen van die van de grondtoon. Aangezien de trillingssensor een spanning afgeeft die recht evenredig is met de maximale snelheid van het middelpunt van de snaar, moet deze snelheid bij de grondtoon minstens 100 maal zo groot zijn als die bij de tweede boventoon.

De amplitude van het midden van de snaar is bij resonantie in de grondtoon 0,9 mm.

3p 17 □ Bereken de amplitude die de trilling van de tweede boventoon maximaal mag hebben, zodat de verstoringende werking op de spanning van de trillingssensor minder is dan 1%.

Voer de voortplantingssnelheid van de golven in de snaar geldt:

$$v = f\lambda = \sqrt{\frac{F_s l_s}{m}}$$

Hierin is:

- λ de golflengte van de golven in de snaar;
- f de frequentie van de trillingen;
- F_s de spankracht in de snaar;
- m de massa van de snaar;
- l_s de lengte van de snaar.

De afstand tussen de twee blokjes is 14,2 cm.

De diameter van de roestvrij stalen snaar is 0,80 mm. Als de stalen kolom niet wordt belast, is de spankracht in de snaar gelijk aan $4,8 \cdot 10^2$ N.

- 5p 18 Bereken de grondfrequentie van de snaar.

Op een bepaalde plek in de grot is een stalen kolom met een lengte van 2,32 m geplaatst. Als het plafond van de grot iets daalt en een extra kracht ΔF_k op de kolom uitoefent, wordt deze over de gehele lengte samengedrukt.

Het verband tussen ΔF_k en de lengteverandering Δl_k wordt gegeven door de formule:

$$\Delta F_k = \frac{AE}{l_k} \Delta l_k$$

Hierin is:

- A de oppervlakte van de dwarsdoorsnede van de kolom. Deze is gelijk aan $4,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$;
- E de zogenaamde elasticiteitsmodulus van de stof waarvan de kolom gemaakt is: deze is voor staal gelijk aan $2,0 \cdot 10^{11}$, uitgedrukt in S.I.-eenheden;
- l_k de lengte van de kolom.

- 3p 19 Leid de eenheid van E af uit bovenstaande formule en druk deze uit in S.I.-grondeenheden (zie tabel 3A van het informatieboek BINAS).

Als de kolom korter wordt, komen de bevestigingspunten van de snaar dichter bij elkaar te liggen zodat ook de snaar korter wordt. Bij een bepaalde meting blijkt de snaar $6,1 \cdot 10^{-5}$ m korter te zijn geworden.

- 3p 20 Bereken de extra kracht die het gesteente daarbij op de stalen kolom uitoefent.

De lengteverandering van de snaar kan ook in een percentage worden uitgedrukt. De procentuele lengteverandering van l_s is:

$$\frac{\Delta l_s}{l_s} \cdot 100\% = \frac{6,1 \cdot 10^{-5}}{14,2 \cdot 10^{-2}} \cdot 100\% = 0,043\%$$

Door de frequentie van de wisselspanningsbron zodanig te veranderen dat de trillingsensor weer de maximale spanning afgeeft, wordt steeds de (veranderde) grondfrequentie van de snaar bepaald. Uit de formule voor de voortplantingssnelheid in de snaar blijkt dat deze grondfrequentie niet alleen verandert door de lengteverandering van de snaar. Tegelijk met de lengteverandering treden namelijk ook veranderingen op in de spankracht in de snaar en in de golflengte van de grondtoon. Zo blijkt bij de lengtevermindering van $6,1 \cdot 10^{-5}$ m de spankracht af te nemen met 42 N.

- 4p 21 Beredeneer aan de hand van de formule voor de voortplantingssnelheid v van de golven in de snaar of de grondfrequentie bij de gegeven lengteverandering groter of kleiner wordt. (Hint: Bereken eerst de procentuele veranderingen van F_s en λ .)

Figuur 44. Opgave 5 uit het VWO-examen natuurkunde van 2000, eerste tijdvak.

Ontwikkelingen in natuurkundeonderwijs

onderwijs en het examen¹¹², dat ik hier uitgebreid zal weergeven. Dat is dus niet echt mals! En de vraag doet zich dan ook voor in hoeverre zij gelijk hadden.

ALGEMENE BESCHOUWINGEN

Het VWO eindexamen natuurkunde dat afgelopen week afgenomen is, geeft in onze ogen een verontrustend beeld van het natuurkundeonderwijs in Nederland. De geëxamineerde stof beperkt zich in wezen tot nogal elementaire en weinig boeiende natuurkunde. Deze stof wordt vervolgens kunstmatig moeilijk gemaakt en wel op twee manieren:

Ten eerste wordt er veel nadruk gelegd op tekstanalyse. De leerlingen moeten zich een weg banen door ellenlange paragrafen met irrelevante informatie, van afskortingen van overheidslaboratoria tot de toeristische waarde van de grotten van Valkenburg. Het examen vraagt daarom soms meer vaardigheid in taalbeheersing (wat is het verschil tussen “stuursysteem”, “regelsysteem” en “meetsysteem”?, etc.) en gezond verstand dan werkelijk fysisch inzicht.

Ten tweede wordt krampachtig geprobeerd de natuurkunde zoveel mogelijk te plaatsen in alledaagse situaties. Het is natuurlijk prijzenswaardig dat de brede toepasbaarheid van de natuurkunde benadrukt wordt en dat er gewezen wordt op het grote nut voor de maatschappij. Maar er wordt hier ook een belangrijk didactisch punt over het hoofd gezien. Zelfs de elementairste natuurkunde kan heel moeilijk worden wanneer men deze op alledaagse situaties als fietsbanden, remwegen en ozonlagen wil toepassen – zie de gebruikelijke verwarring en publieke discussie rond de huis-tuin-en-keukenvragen bij wetenschapsquizzen.

Bij dit soort praktijksituaties komen namelijk veel ogenschijnlijk bijkomstige zaken kijken, zoals materiaaleigenschappen en niet meegerekende verliezen, die de fysische redentie vertroebelen. Zo wordt bijvoorbeeld dit jaar de opgave over ozon in de atmosfeer geplaagd door allerlei simplistische beschrijvingen en zelfs feitelijk onjuiste aannamen die vanwege de complexiteit van deze tak van de fysica de opgave erg moeilijk maken, juist voor die leerlingen die wat meer dachten te begrijpen van de natuurkunde.

De opstellers van het examen lijken te vergeten dat natuurkunde leuker, mooier en boeiender wordt wanneer bijzondere omstandigheden gekozen worden waar een enkele wet duidelijk geïsoleerd kan worden, zoals de wetten van de elektronica in een trillingskring, de wetten van Newton in de bewegingen van een ruimteschip, of de wetten van de hydrostatica. (Heel jammer dat die laatste tak van de natuurkunde, die zo goed is uit te leggen en te demonstreren, van het pakket is geschrapt, en dat in een land dat grotendeels onder de zeespiegel ligt en waar de dijken onveilig dreigen te worden.) Het zijn juist deze essentiële aspecten die laten zien hoe precies de wetten van de natuur zijn, en die inspireren tot verder nadenken. Het kan geen kwaad hier te benadrukken dat het zelfs voor ons beroepsfysici vaak moeilijk is om in zulke toegepaste situaties de essentie van een fysisch probleem te zien, laat staan voor een VWO leerling.

Afgaande op dit examen rijst daarom de vraag of de huidige benadering van het natuurkundeonderwijs er in slaagt om enerzijds de algemeen geïnteresseerde leerling een goede indruk te geven wat de natuurkunde nu zo boeiend en nuttig maakt, en anderzijds de zo dun gezaaide betadenkers aan te moedigen verder over de natuurkunde na te denken.

Natuurkunde is een fundamentele wetenschap die met haar vele toepassingen ieder aspect van ons leven raakt en vele grote openstaande problemen kent. Het moet de taak van zowel leraren als wetenschappers zijn om aan allen deze diepgang te laten zien en hen ervan te doordringen dat de exacte natuurwetten de basis vormen voor het hedendaagse wereldbeeld. Verwondering en nieuwsgierigheid zijn daarbij de primaire drijfveren, inzicht en helderheid de beloning. Didactische overwegingen moeten daarbij in eerste instantie een ondersteunende rol spelen.

Door de nadruk te leggen op moeilijke, technische toepassingen van elementaire natuurkundige verschijnselen

¹¹² Dit waren Robbert Dijkgraaf, Ed van den Heuvel, Gerard 't Hooft en Ad Lagendijk. Zie: http://examen.kennisnet.nl/uitwerkingen_wetenschappers/vo/0/1/na0/vo01na0a01.html

en een beroep te doen op “boerenverstand” en taalbeheersing lijkt het wezen van de natuurkunde ernstig te kort te worden gedaan. Op grond hiervan verbaast het ons niet dat zo weinigen na het VWO nog voor een natuurkundestudie kiezen.

Allereerst past de opmerking dat het natuurlijk heel gevaarlijk is om het onderwijs te beoordelen op grond van een schriftelijk examen. Aan examens en examenvragen worden immers vormeisen gesteld, zoals overdekking van het programma en dat deelvragen niet op elkaar mogen voortbouwen, die er toe leiden dat examenvragen geen directe afspiegeling kunnen zijn van de vigerende onderwijspraktijk, ook al gaat er wel degelijk een voor diezelfde praktijk sterk sturende werking van uit. Ook kan daardoor het al of niet boeiend zijn van een programma, niet aan het examen worden afgelezen. Ook de tweede opmerking van de topfysici slaat de plank mis. In het WEN-programma werd, onder de noemer ‘geautomatiseerde systemen’, onderscheid gemaakt tussen meet-, stuur-, en regelsystemen. Het is uiteraard goed mogelijk de opname van deze begrippen in het programma te bekritisieren, maar, gegeven dat dit het geval was, is het onzinnig om te zeggen dat het wat betreft dit onderscheid om een kwestie van tekstanalyse en taalbeheersing zou gaan¹¹³.

Dit laat overigens onverlet dat het juist is om te concluderen, zoals eerder gedaan, dat tekstanalyse wel degelijk een zwaarder accent krijgt in contextrijk onderwijs. De in figuur 44 gegeven examenvraag illustreert dit duidelijk, zeker als we bedenken dat het hele examen uit zes van dit soort vragen bestond¹¹⁴.

Maar hoe erg is dat? Is natuurkunde leren niet ook de natuurkundige taal leren spreken en situaties met behulp van die taal leren beschrijven? Of, anders gezegd, is het begrijpen van de tekst over de Valkenburgse grot als de beschrijving van een situatie in termen van natuurkundig relevante elementen (die vervolgens verder mathematisch geanalyseerd en bewerkt kunnen worden), niet een essentieel onderdeel van wat het betekent om natuurkundig te kunnen handelen? En het is juist dát onderdeel dat in contextrijk onderwijs mede aandacht krijgt, als reactie op de al bij voorbaat geïdealiseerde natuurkundige onderwijssituaties uit het verleden. Wanneer de tekstanalyse inderdaad zou gaan over de toeristische attractie van de grot, zouden de topfysici gelijk hebben, maar dat is helemaal niet aan de orde. En het is juist dat contexten de zaak eerder moeilijker dan makkelijker maken, maar dat kan toch geen serieus bezwaar zijn? Uit de door hen gegeven voorbeelden van bijzondere omstandigheden die de natuurkunde leuker, mooier en boeiender zouden maken, kan ik me niet aan de indruk onttrekken dat hier voornamelijk een te ver gaande extrapolatie plaatsvindt van datgene wat de betreffende theoretisch zeer begaafde schrijvers zelf als leerling interessant

¹¹³ Helaas doen de beginopmerkingen van de topfysici dus vooral denken aan het bekende fenomeen dat over onderwijs, en vaak op grond van verworven maar niet relevante autoriteit, iedereen zijn mening mag geven zonder zich te baseren op voldoende kennis van zaken.

¹¹⁴ Hieruit hoeft nog niet te worden geconcludeerd dat contextrijk onderwijs niet geschikt zou zijn, het ligt eerder voor de hand om te concluderen dat meer diversiteit in de vorm van examenvragen gewenst is. In feite is in figuur 44 sprake van een valse context. De door leerlingen te beantwoorden vragen zijn weliswaar afgeleid uit een beschrijving van de overkoepelende context, maar hebben daarvoor nauwelijks relevantie. Ze hadden net zo goed als relatief kleine zelfstandige vragen gesteld kunnen worden, zonder de context van de grot.

vonden, naar wat volgens hen goed is voor alle leerlingen. En ze scoren daarmee inderdaad een punt, in die zin dat het gevaar reëel is dat contextrijk onderwijs juist voor die groep leerlingen niet genoeg te bieden heeft. Maar of hun mening terecht is dat daardoor zo weinigen na het VWO een natuurkundestudie willen kiezen, valt nog te bezien. Laten we daartoe eerst kijken naar wat onderzoek naar de opbrengst van contextrijk onderwijs tot nu toe heeft opgeleverd.

4.3.12 Onderzoek naar contextrijk (natuurkunde)onderwijs

In de loop der jaren is er op verschillende plaatsen onderzoek gedaan naar de effecten van en problemen met contextrijk onderwijs, waarbij ik even voorbij ga aan de vraag of deze term wel overal op dezelfde manier werd geïnterpreteerd. In ons land zijn er diverse studies gedaan die betrekking hadden op PLON-onderwijs, zonder dat overigens gesproken kan worden van een echte evaluatie van het project als zodanig.

In feite kwamen de pretenties van contextrijk onderwijs neer op twee hoofdzaken, enerzijds een verwachte toenemende relevantie en motivatie, en anderzijds een verwachte betere begripsvorming¹¹⁵. Hierbij dient wel aangetekend te worden dat deze verwachtingen niet uitsluitend gebaseerd waren op de rol van contexten, maar eveneens op het veelvuldig gebruik van activerende werkvormen en een betere kwaliteit van de conceptuele didactisering.

Helaas zijn er weinig harde gegevens beschikbaar over de ervaren relevantie van PLON-onderwijs. Alleen het onderzoek van Wierstra heeft daarop uitdrukkelijk betrekking, maar dat was hoofdzakelijk beperkt tot het MAVO en de onderbouw HAVO/VWO. Zoals Wierstra het formuleert ging het om onderzoek naar het meer betekenisvol maken van natuurkundeonderwijs voor leerlingen, door middel van een curriculum dat gekarakteriseerd kan worden als leefwereld- en participatiegericht.

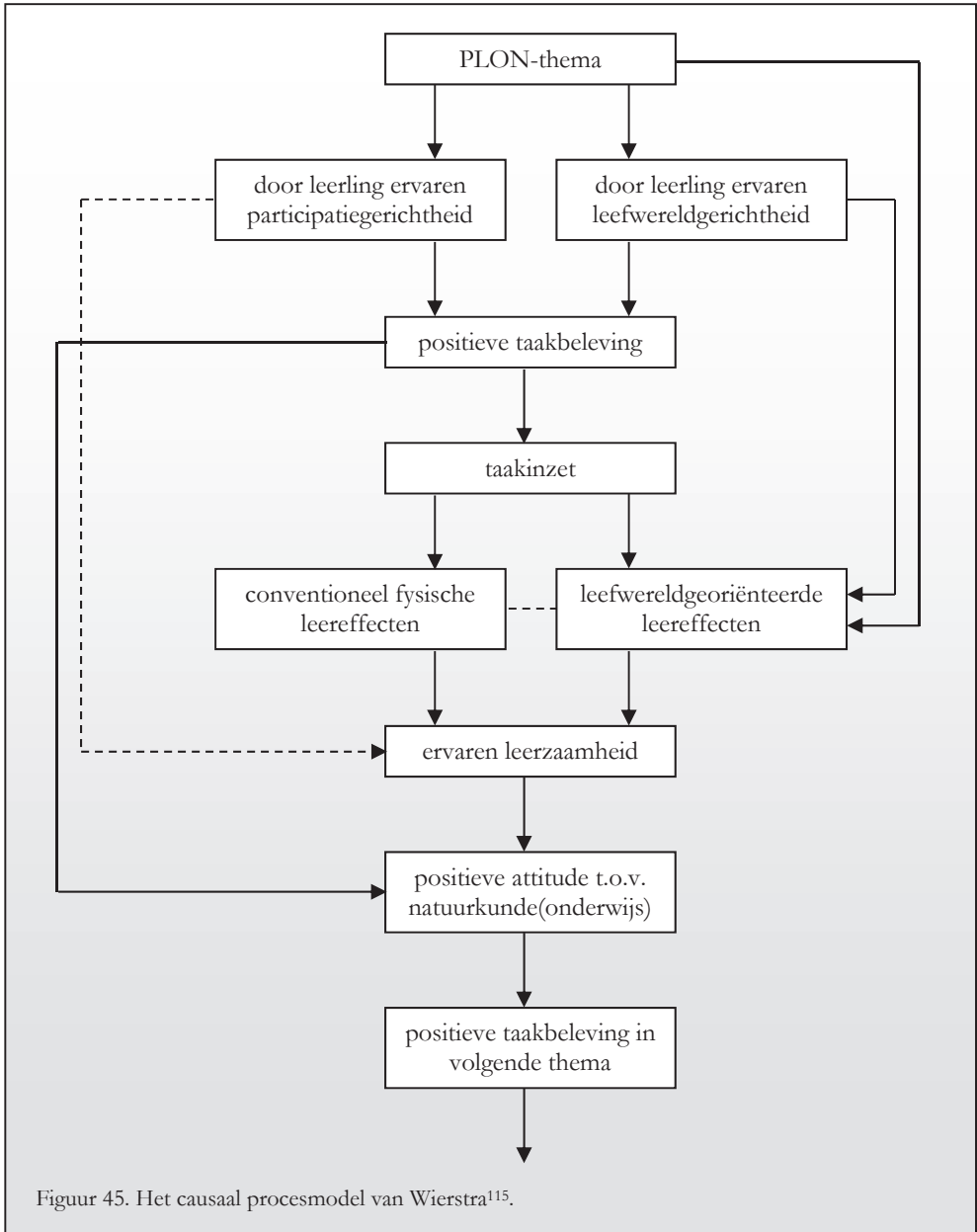
“Leefwereldgerichtheid betreft de mate waarin tijdens het onderwijs de behandelde fysische kennis expliciet gepresenteerd wordt in relatie tot de alledaagse werkelijkheid en de buitenschoolse ervaringen van leerlingen. Participatiegericht natuurkundeonderwijs betekent dat werkvormen benadrukt worden waarin de leerling relatief zelfstandig, niet voortdurend gestuurd en begeleid door de leraar, een leertaak uitvoert, waarbij er mogelijkheden zijn voor eigen inbreng.

Als centrale probleemstelling van het onderzoek wordt de vraag geformuleerd in hoeverre het PLON-curriculum en met name de leefwereld- en participatiegerichtheid van het curriculum leidt tot onderwijs dat door leerlingen als betekenisvol wordt ervaren en in hoeverre dit gevolgen heeft voor cognitieve opbrengsten.”

¹¹⁵ Er is een klein aantal proefschriften verschenen, dat betrekking heeft op contextrijk PLON-onderwijs: D. van Genderen (1989). *Mechanica-onderwijs in beweging*. Utrecht: WCC; H.M.C. Eijkelhof (1990). *Radiation and Risk in Physics Education*. Utrecht: CD-β Press; R.F.A. Wierstra (1990). *Natuurkundeonderwijs tussen leefwereld en vakstructuur*. Utrecht: CD-β Press; A.E. van der Valk (1992). *Ontwikkeling in energieonderwijs*. Utrecht: CD-β Press; J.A. Dekker (1993). *Wendbaarheid in beweging*. Amsterdam: UvA.

Daarnaast is bij de afsluiting van het project een bundel artikelen verschenen onder de titel ‘Op weg naar vernieuwing van het Natuurkundeonderwijs’ (Den Haag: SVO, 1986), onder redactie van H.M.C. Eijkelhof, E. Holl, B. Pelupessy, A.E. van der Valk, P.A.J. Verhagen & R.F.A. Wierstra.

Wierstra ontwierp een causaal procesmodel (figuur 45) dat aangeeft hoe de te ervaren participatiegerichtheid en leefwereldgerichtheid zouden moeten leiden tot een goede taakinzet en, door middel van een breed scala leereffecten, tot te ervaren leerzaamheid en een positieve attitude ten opzichte van natuurkunde. Dit is een nogal pretentius model, maar het geeft wel goed weer wat, in ieder geval toentertijd, van thematisch gestructureerd contextrijk PLON-onderwijs werd verwacht. Een aantal verwachtingen



Figuur 45. Het causaal procesmodel van Wierstra¹¹⁵.

uit dit model is getest door de ervaringen van PLON-leerlingen te vergelijken met die van een controlegroep. Zo bleek dat PLON-leerlingen de lessen als ‘meer participatiegericht en enigszins meer leefwereldgericht’ ervoeren dan de controlegroep. In beide groepen ging een grotere ervaren leefwereld- en participatiegerichtheid samen met het meer betekenisvol vinden van de lessen. In 4-MAVO werden de PLON-lessen als meer leerzaam ervaren, maar niet noodzakelijk hoger gewaardeerd. Bij leerlingen van docenten die nog relatief kort met het PLON-curriculum werkten, werd geen verschil in ervaren leerzaamheid gevonden tussen de PLON-groep en de controlegroep. Uit alle onderzoeken kwam naar voren dat PLON-leerlingen het minstens even goed deden wat betreft conventioneel-fysische kennisopbrengst als de controleleerlingen. Dit gold ook voor hun transfervaardigheid, hetgeen betekent dat eventuele gebondenheid aan de aanleercontext in ieder geval geen meetbaar negatief effect had.

Wierstra heeft ook een deelonderzoek gewijd aan het 4-HAVO thema ‘Verkeer’, hetgeen in het licht van het voorgaande wat meer aandacht verdient. Het bleek dat PLON-leerlingen de lessen als ‘beduidend meer participatiegericht en enigszins meer leefwereldgericht’ ervoeren dan de controleleerlingen. Leefwereld- en participatiegerichtheid hadden in beide groepen een positieve invloed op de affectieve opbrengsten, waarbij leefwereldgerichtheid vooral invloed had op de ervaren leerzaamheid en participatiegerichtheid op de leswaardering. Verder bleek dat PLON-leerlingen de mechanicalessen niet leerzamer vonden en niet meer waardeerden dan leerlingen uit de controlegroep. Tenslotte bleek er weer geen verschil te zijn in conventionele mechaniekennis tussen PLON- en niet-PLON-leerlingen, hoewel de PLON-leerlingen wel meer leefwereldgeoriënteerde leerervaringen rapporteerden.

Het feit dat de PLON-leerlingen de lessen met het thema ‘Verkeer’ niet leerzamer vonden en niet meer waardeerden was tegen de verwachting in, en vroeg dan ook om een nadere verklaring. Er moest meer aan de hand zijn geweest. In een later artikel komen Wierstra & Wubbels¹¹⁶ daar op terug: *“In the study about Traffic we found that the learning environment was perceived as more reality- and activity-centred in the PLON classes than in the control classes. Despite this difference and the correlations between reality- and activity-centeredness and the affective outcomes, these outcomes tended to be lower in the PLON than in the control classes. An explanation of this phenomenon may be found in other factors that influence affective outcomes. Such factors may neutralize the positive effects of the reality and activity centeredness. A possible factor is the feedback that students get during lessons and the quality of the interpersonal relation between teacher and students. Both factors are important for student outcomes and, for both, informal observations indicate that PLON teachers may score lower than control teachers (see also Brekelmans et al., 1990)¹¹⁶. The rather open learning environments created in PLON classes are not easy to handle for teachers and therefore may sometimes lead to teachers’ uncertainty and slightly unorganized class situations. Consequently teacher-student relationships may be tense. Teachers may mistake “laissez faire” behaviour of the teacher for promoting student involvement and activity. In such a “laissez*

¹¹⁶ R.F.A. Wierstra & Th. Wubbels (1994). Student perception and appraisal of the learning environment: core concepts in the evaluation of the PLON physics curriculum. *Studies in Educational Evaluation*, 20, 437-455.

M. Brekelmans, Th. Wubbels & H.A. Créton (1990). A study of student perceptions of physics teacher behavior. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 335-350.

faire” attitude there is too little emphasis on checking students’ work and progress and on providing them with feedback. Further, the complexity of the many different things that may happen at the same time in a PLON class keeps the teacher so busy that he or she may have too little time to be consistently involved in giving students appropriate feedback.”

Wat betekent dit nu allemaal in gewoon Nederlands? Kort gezegd komt het er, mijns inziens, op neer dat contextrijk onderwijs wel een positief effect kán hebben op de attitude van leerlingen ten opzichte van natuurkunde, maar dat je er zeker geen wonderen van mag verwachten. Hetzelfde geldt voor het gebruik van activerende werkvormen. Uiteindelijk lijkt toch alles te draaien om wat de docent er mee doet! En wat de verworven kennis en inzicht betreft, mag je blij zijn dat deze niet minder zijn dan ‘normaal’. Dit zijn uiteraard nogal ontnuchterende resultaten, die alle curriculumretoriek, zowel ten tijde van het PLON als van de jaren ervoor en daarna, in een wat schril daglicht stellen. Is het eigenlijk überhaupt wel mogelijk om door middel van curriculumvernieuwing grote effecten op leerlingniveau tot stand te brengen? Alvorens deze vraag definitief negatief te beantwoorden lijkt het nuttig om te kijken of er nog meer, en meer recente, evidentie beschikbaar is die daar iets naders over zegt.

“Context-based and science-technology-society (STS) approaches to teaching science in high school have become widely used over the past two decades. They aspire to foster more positive attitudes to science while, at the same time, provide a sound basis of scientific understanding for further study. This paper reviews the detailed research evidence from 17 experimental studies undertaken in eight different countries on the effects of context-based and STS approaches, drawing on the findings of two systematic reviews of the research literature. The review findings indicate that context-based/STS approaches result in improvement in attitudes to science and that the understanding of scientific ideas developed is comparable to that of conventional approaches. The approaches also result in more positive attitudes to science in both girls and boys and reduce the gender differences in attitudes.” Aldus concluderen Bennett et al.¹¹⁷ op grond van een omvangrijke literatuurstudie naar de effecten van contextrijk science-onderwijs. Een conclusie die wordt ondersteund door een andere recente reviewstudie¹¹⁷. Daarin lezen we eerst dat de verwachtingen van contextrijk onderwijs, internationaal, nog steeds onverminderd hoog zijn: *“In physics, when compared to traditional instruction, context-based instruction is expected to be more effective in improving the motivation, problem solving, and achievement of students. Contextualizing the physics material is thought to prevent students from viewing physics as an abstract topic irrelevant to their everyday life, supporting student motivation. It is also expected that integrating context into physics will move students away from viewing physics material and problems as something to memorize or compute, resulting in them engaging in better problem solving. Finally, context-based physics is expected to lead to higher achievement when compared to traditional instruction because of increased motivation and use of better strategies. Given that supporting student motivation, problem solving, and achievement are longstanding goals of physics instruction, any effort to do so is significant.”*

En tegelijk blijkt er verrassend weinig onderzoek¹¹⁷ van voldoende kwaliteit te zijn, dat

¹¹⁷ Daartoe heb ik onder andere de volgende artikelen geraadpleegd:

G. Taasobshirazi & M. Carr (2008). Review and critique of context-based physics instruction and assessment. *Educational Research Review*, 3, 155-167.

over deze hoge verwachtingen iets wezenlijks kan zeggen. *“It is difficult to draw conclusions about the efficacy of context-based instruction in physics as a result of significant methodological problems with the few studies that have been done. The little and poorly designed research examining whether context-based instruction results in higher achievement when compared to traditional physics instruction is a major problem. Although a primary goal of integrating context into physics is to improve achievement, there is little evidence that it does so. There is evidence suggesting that context-based instruction promotes more conceptually based problem solving, but the confounding variable group work makes it difficult to interpret the results. More and better designed research needs to be conducted before recommendations are made to educators about the effectiveness of context-based instruction.”*

Kuiper¹¹⁸, ten slotte, vat de onderzoeksresultaten als volgt samen:

- *er is ‘enig bewijs’ (“some evidence”) ter ondersteuning van de claim dat contextgericht onderwijs leerlingen motiveert;*
- *er is ‘bewijs’ (“evidence”) ter ondersteuning van de claim dat contextgericht onderwijs resulteert in een meer positieve houding van leerlingen tegenover natuurwetenschap in het algemeen;*
- *er is ‘gegrond bewijs’ (“good evidence”) ter ondersteuning van de claim dat contextgericht onderwijs, in vergelijking met meer conventionele benaderingen, niet nadelig van invloed is op (“not adversely affect”) natuurwetenschappelijke begripsvorming.*

Vervolgens concludeert hij dat contextgericht natuurwetenschappelijk onderwijs dus een effectieve manier lijkt om leerlingen meer te motiveren en bovendien lijkt bij te dragen aan een meer positieve houding van leerlingen. Een conclusie die mij, in het licht van de geciteerde ‘evidence’, toch wat aan de optimistische kant lijkt. Uiteindelijk blijkt de enige rechtvaardiging voor contextgericht onderwijs die onverminderd overeind staat, niet gegeven te kunnen worden door te focussen op de effecten bij leerlingen, al wordt dit wel steeds naar voren gebracht, maar door het antwoord op de vraag welk beeld van het vak natuurkunde wij (docenten, beleidsmakers) vinden dat relevant is om aan leerlingen aan te bieden. Het trieste is dat, door contexten als didactisch middel en niet als onderwijsdoel te zien, deze rechtvaardiging steeds buiten beeld blijft en verdwijnt.

Naast het besproken onderzoek dat gericht was op overall effecten van contextrijk (PLON-)onderwijs, zijn er ook studies verricht die ingingen op relevante details. Zo heeft Jörg¹¹⁹ onderzoek gedaan naar de beleving van leerlingen van de PLON-HAVO-bovenbouwcurcus en in het bijzonder naar verschillen daarin tussen jongens en meisjes. Een aantal resultaten daarvan is met name interessant om de verwachtingen ten aanzien van specifieke contexten, c.q. contextgebieden, toch wat meer in perspectief te kunnen plaatsen.

J. Bennett, F. Lubben & S. Hogarth (2007). Bringing science to life: A synthesis of the research evidence on the effects of context-based and STS approaches to science teaching. *Science Education*, 91(3), 347-370.

J. Bennett & J. Holman (2002). Context-based approaches to the teaching of chemistry: What are they and what are their effects? In: J.K. Gilbert et al. (Eds.) *Chemical Education: Towards Research-Based Practice* (pp. 165-184). Dordrecht: Kluwer.

¹¹⁸ W. Kuiper (2009). Curriculumevaluatie en verantwoorde vernieuwing van bètaonderwijs. Oratie. Enschede: SLO.

¹¹⁹ In: Op weg naar vernieuwing van het natuurkundeonderwijs. Zie noot 115.

De getallen in figuur 46 spreken in feite voor zichzelf, maar toch wil ik een aantal interessante trends daarin kort memoreren. Er is een redelijke spreiding in waardering over de verschillende thema's, waaruit geconcludeerd zou kunnen worden dat men er redelijk in geslaagd is de diverse interesses van leerlingen aan te spreken. Maar er zijn toch vier thema's die duidelijk hoger scoren dan de andere vijf. Drie daarvan zijn sterk gericht op de buitenschoolse leefwereld, jongens en meisjes waren daarin redelijk eensgezind. Sterk technisch gerichte thema's komen er niet echt goed af. Opvallend zijn de meningen over 'Ioniserende Straling' en 'Materie'. Het eerste scoort heel goed bij meisjes, maar het laatste scoort slecht over de hele linie. Dat betekent dat deze HAVO-leerlingen dus niet echt werden aangesproken door de intellectueel-historische behandeling van het fundamentele zoeken naar de diepere structuur der materie. Een enigszins schokkende uitkomst in het licht van de traditionele opvatting dat daarin toch de kern van de natuurkunde gezocht moet worden. Opvallend is ook dat er geen eenvoudig direct verband is tussen waardering en leerzaamheid¹²⁰.

Thema's voor HAVO- bovenbouw		Best bevallen thema		Slechtst bevallen thema		Meest van geleerd	
		jongens	meisjes	jongens	meisjes	jongens	meisjes
4 HAVO	Weersveranderingen	11	16	14	11	19	25
	Verkeer	27	20	3	5	21	37
	Muziek	14	16	9	5	17	16
	Elektrische Machines	4	0	5	23	14	7
	Energie en Kwaliteit	7	4	2	0	19	9
5 HAVO	Lichtbronnen	2	4	4	0	11	7
	Ioniserende Straling	9	29	5	0	41	62
	Elektronica	17	0	15	27	37	23
	Materie	9	9	25	21	19	14

Figuur 46. Voorkeuren van HAVO-5 leerlingen (in %) uitgesplitst naar jongens en meisjes met betrekking tot de behandelde thema's in de vierde en vijfde klas.

Daarnaast is een volgend onderzoekje van Jörg¹¹⁹ informatief, waarin de ervaringen van leerlingen met betrekking tot hun eigen lessituatie werden geïnventariseerd. In

¹²⁰ Hier past een kanttekening bij. Zoals eerder gezegd was het PLON in een aantal opzichten zijn tijd vooruit. Dat betekende dat PLON-lessen vaak konden afwijken van wat in de rest van de school gebruikelijk was en dat kan zeker de waardering van leerlingen hebben beïnvloed, al is moeilijk te zeggen in welke richting. Genseberger heeft later laten zien dat er ten aanzien van de waardering van natuur- en scheikundeonderwijs (althans in de onderbouw) nog veel te winnen is, als dit vanuit een voor de gehele school gemeenschappelijke leerlinggerichte pedagogische visie wordt vormgegeven, die de hele schoolcultuur, organisatie, curricula en lespraktijk bepaalt. Je zou kunnen zeggen dat het Studiehuis voor de bovenbouw een dergelijke grootschalige implementatie inhield (zij het vanuit een heel andere visie), wat de vraag oproept hoe de PLON-kenmerken binnen die context zouden zijn gewaardeerd.

Zie: R. Genseberger (1997). *Interesse-georiënteerd natuur-en scheikundeonderwijs*. Utrecht: CD-β Press.

figuur 47 worden de uitkomsten hiervan vereenvoudigd weergegeven.

Uit deze tabel komt duidelijk naar voren dat deze leerlingen het onderwijs nog aanzienlijk sterker toepassingsgericht zouden willen hebben, terwijl ze ook graag nog meer inbreng zouden hebben in de lessen. Alhoewel de manier waarop dat dan zou moeten voor hen kennelijk niet echt duidelijk lijkt, want, behalve dat ze wel vaker zelf proeven zouden willen bedenken, is er geen behoefte om daarover dan ook vaker te rapporteren. Toch komt uit het geheel de indruk naar voren dat de actieve werkvormen die kenmerkend waren voor het PLON-onderwijs, in ieder geval door de toenmalige leerlingen goed werden gewaardeerd.

	Gemiddelde score voor:	
	waargenomen situatie	gewenste situatie
Toepassingsgerichtheid		
In de natuurkundelessen worden praktische toepassingen van natuurkunde behandeld.	3,1 3,1	4,0 4,0
In de natuurkundelessen komt de betekenis van natuurkunde voor de samenleving aan bod.	2,7 2,6	3,6 3,6
De opdrachten of vraagstukken in de natuurkunde gaan over dingen die je ook in het dagelijks leven kunt tegenkomen.	3,2 3,1	4,0 3,9
In de natuurkundeles praten we over wat je aan natuurkunde kunt hebben.	2,0 2,0	3,7 3,4
Leerlinginbreng		
In de natuurkundeles discussiëren we over natuurkunde-onderwerpen.	1,8 1,9	2,8 2,9
In de natuurkundeles wordt door de leraar echt iets gedaan met onze wensen en opmerkingen.	2,6 2,9	4,1 4,0
In de natuurkundeles kunnen we onze eigen mening geven over allerlei dingen.	2,8 2,8	3,7 3,6
Werkvormen		
In de natuurkundeles rapporteren we over onze eigen activiteiten.	3,3 2,8	2,8 2,4
In de natuurkundeles kunnen we zelf onderzoekjes (proeven) bedenken.	2,3 2,1	3,2 2,9
In de natuurkundeles doen we zelf proeven.	3,9 3,7	4,1 3,8
In de natuurkundeles werken we in groepen.	4,2 3,8	4,2 3,7

Figuur 47. Overzicht van de gemiddelde scores op een 5-puntsschaal (1= bijna nooit, 5= zeer vaak) voor een drietal kenmerken van de lessen met het PLON-HAVO-bovenbouwcurriculum. De tabel geeft de score van leerlingen van 4-HAVO (bovenste score) en 5-HAVO (onderste score) op een aantal representatieve items, zowel ten aanzien van de door hen waargenomen situatie als de door hen gewenste situatie.

Ten slotte is er specifiek onderzoek gedaan naar de begripsvorming in contextrijk onderwijs. Zo heeft Van Genderen¹¹⁵ zich gebogen over de begripsproblematiek in het thema ‘Verkeer’, dus gericht op functionele begripsvorming zoals zo mooi eerder beschreven. Kwam daar eigenlijk wel iets van terecht? Nou, dat viel nog niet echt mee. In zijn onderzoek richtte Van Genderen zich vooral op het begrip ‘kracht’. Daartoe besteedde hij speciaal aandacht aan situaties die geassocieerd zijn met ‘lichaamskracht’, zoals fietsen, iemand voortduwen of geduwd worden. Hij constateerde dat veel leerlingen zich bij vragen over dat soort situaties, ook na de bovenbouw-mechanica, laten leiden door denkbeelden als ‘overwinnen van tegenwerking’, ‘sterk en zwak’, of ‘actief en passief’.¹²¹ Hij komt dan tot de formulering van een aantal intuïtieve ‘ervaringsregels’ en concludeert dat allerlei situaties in het dagelijks leven daarvan context zijn. Daarmee fungeren ze, in zijn woorden, als een soort ‘vierde colonne’, bij het leren verbinden van fysieke regels met realistische situaties. Zo concludeert hij: *“Wij maken het de leerlingen wel erg moeilijk door het begrip kracht meteen te koppelen aan de context fietsen, waar de eigen “kracht” zo duidelijk het beeld domineert.”* En ook al geeft zijn onderzoek daar geen eenduidig uitsluitsel over, toch lijkt het zeer twijfelachtig of we mogen zeggen dat de in dit thema bedoelde contextgebonden begripsvorming ook echt functioneert. In ieder geval lijkt ze eerder moeilijker dan gemakkelijker tot stand te komen.

Het onderzoek van Dekker¹¹⁵ aan de thema/blok-combinatie ‘Verkeer-Bewegingen’ sluit hier op aan door, naast de contextgebonden begripsvorming, ook de centrifugale begripsvorming in realistische situaties, in termen van de voor het VWO noodzakelijke algemene wendbaarheid, te onderzoeken. Ook in dit onderzoek zijn de resultaten weinig overtuigend voor wat betreft een positieve, de begripsvorming ondersteunende, rol van contexten. Volgens Dekker leidde de beperkte wendbaarheid van de begripsvorming in het thema ‘Verkeer’ er toe dat de leerlingen onvoldoende in staat waren tot generaliseren in het daarop volgende blok ‘Bewegingen’. En dus tot het niet bereiken van de beoogde algemene wendbaarheid. Op grond daarvan werd in feite het thema/blok-model verlaten en, hoewel het bereikte niveau van uiteindelijke begripsontwikkeling hierdoor positief werd beïnvloed, resulteert toch ook de conclusie dat het vooralsnog onduidelijk is welke rol de aandacht voor realistische situaties hier nu precies in kan en moet spelen. Van der Valk¹¹⁵ is hierover duidelijker. Op grond van zijn onderzoek naar de combinatie van het thema ‘Energie’ en het blok ‘Arbeid en Energie’ concludeert hij het volgende: *“Met betrekking tot begripsontwikkeling was de gedachte achter het thema/blok-model dat een kernbegrip contextgebonden, maar niettemin vakmatig correct (praktijgericht) ontwikkeld zou kunnen worden in het thema om daarna, in het vakstructuurgerichte blok, de ontwikkelde relaties fysisch/mathematisch te ‘verdiepen’ en wendbaar te maken (te ‘verbreden’). Ons onderzoek heeft opgeleverd dat deze gedachte in zijn algemeenheid onjuist is. Dat hangt samen met het feit dat de contexten in een thema uit één contextgebied gekozen worden. Die eenzijdigheid vergroot de kans op een blokkade van de begripsontwikkeling.”* En vervolgens: *“Het thema/blok-model is niet zonder meer een goede structuur voor een realiteitsgericht curriculum dat de ontwikkeling van wendbaar te gebruiken kernbegrippen bij leerlingen nastreeft. De opbouw in zo’n curriculum dient in ieder geval voor een belangrijk deel vakstructuurgericht te zijn: een stapsgewijze toename van de abstractie van begrippen (bijvoorbeeld in de vorm van het gebruik van steeds abstrac-*

¹²¹ In latere hoofdstukken zal uitgebreid op deze begripsproblematiek worden ingegaan.

ter conceptualisaties van een begrip) gecombineerd met een opbouw van eenvoudige (school)contexten naar complexe (praktijk)contexten in elk van de opeenvolgende stappen. Daarbij is het gebruik van afwisselende contexten vereist. In hoeverre zo'n opbouw aangevuld moet worden met een praktijkgericht deelcurriculum hangt af van andere overwegingen dan het bereiken van begripsontwikkeling, met name motivatie en herkenbaarheid voor leerlingen en het nastreven van STS-doelstellingen."

Zo'n STS-doelstelling wordt bijvoorbeeld gegeven door het leren afwegen door leerlingen van risico's van ioniserende straling. Dat is immers een onderwijsdoel dat uitgaat van het nut van natuurwetenschappelijke kennis in buitenschoolse situaties, zeker als getracht is de keuze van leerstof en praktijksituaties te legitimeren bij praktijkdeskundigen. Het is onder andere de evaluatie van dit STS-doel waarop het onderzoek van Eijkelhof¹⁵ zich indertijd heeft gericht. Ook al is dit onderwijsdoel, en volgens Van der Valk terecht, vormgegeven in een thema, in casu het thema 'Ioniserende Straling', ook de uitkomst hiervan is niet hoopgevend. Eijkelhof rapporteert als volgt: "*Finally, the pupils were presented with statements regarding the risks of applications of ionizing radiation and asked to comment on these. Examples of these statements are:*

A: "the disposal of radioactive waste in sea is not a very serious problem";

B: "food which has been irradiated by a radioactive source in order to preserve it should be banned in the Netherlands".

Neither topic is dealt with in the unit. This indeed was part of the basis of their choice, so that pupils' answers could not simply be a repetition of ideas in the unit, but should rather be based on independent reasoning.

Around 80% of the pupils disagreed with the first statement, both before and after the unit. Their reasoning did not show a change in any very obvious direction. They did not know much detail related to the issue and fitted little of the basic knowledge from the unit into their arguments. Instead, these were mainly of a common-sense nature (...).

It is noticeable that responses to the second statement show a greater shift towards a tolerance of radioactivity, and an increase in reasoning ability compared with the first statement, though the physics was not always used in a correct way (...).

This difference between the comments on both statements may be due to the fact that the former case has received much more attention in the news than the latter one, so the opinions of the pupils regarding food irradiation may be less fixed and more easily influenced by instruction."

Ofwel, het bereiken van een STS-doel met betrekking tot het leren toepassen van fysieke argumenten in opinievorming, lijkt juist niet echt gebaat te zijn bij het gebruik van bekende contexten uit het dagelijks leven. Een conclusie die lijkt te raken aan de kern van het toenmalige STS-onderwijs, al is de evidentie veel te beperkt om hem echt hard te kunnen trekken. Wel lijkt de conclusie gerechtvaardigd dat het adequaat gebruik van geleerde fysieke kennis in argumentaties over 'issues' uit het dagelijks leven veel moeilijker te verwezenlijken is dan indertijd (en nog steeds?) gedacht werd.

4.4 Conclusies over contextrijk natuurkundeonderwijs

"In 2015 komen leerlingen van HAVO en VWO die natuurkunde waarderen als een uitdagend vak dat door docenten met plezier wordt gegeven en jongeren motiveert te kiezen voor een exacte studie. Ze hebben natuurkunde geleerd in een context waarin aspecten van hedendaagse natuur- en sterrenkunde

beoefend als wetenschap of beroep een rol spelen. De samenhang met de scheikunde, biologie en wis- kunde is hun bijgebracht door gemotiveerde, enthousiaste leraren die veel ruimte voor een eigen inbreng in het programma hebben. In het flexibele lesprogramma is veel nadruk gelegd op activiteiten; 'leren door doen' is effectiever dan 'leren door luisteren'."

Aldus de ronkende introductie van NINA's visie op de vernieuwing van het natuur- kundeonderwijs. Op grond van het voorgaande zal het duidelijk zijn dat, voor zover dit optimisme is gebaseerd op de rol van contexten en de CCB, de werkelijkheid er waarschijnlijk anders zal uitzien. In hun retoriek stonden steeds drie termen centraal: leerbaarheid, motivatie en relevantie. *"Contexten zijn geen doel op zich, maar een middel om leerlingen begrip van de natuurkunde bij te brengen."* En zoals al eerder geciteerd: *"In de context-conceptbenadering fungeren de contexten als brug tussen de (intuïtieve) begrippen en voorstellingen waar leerlingen al over beschikken en natuurwetenschappelijke concepten en de bijbehorende denk- en werkwijzen."* Uit de beschreven onderzoeken komt duidelijk naar voren dat het zo eenvoudig niet werkt. Integendeel, realistische contexten lijken de begripsvorming eerder moeilijker dan makkelijker te maken. Zeker als er sprake is van aanvankelijke leefwe- relddenkbeelden die negatief kunnen interfereren met de te leren natuurkunde, dan vragen deze om een daarop zeer zorgvuldig afgestemde didactiek waarin zowel realis- tische als geïdealiseerde schoolcontexten een rol moeten spelen. Als het hoofddoel is om breed wendbaar begrip van de natuurkundige basisconcepten aan te brengen, dan lijkt een thematische opzet, passend bij contextgebieden, daarvoor minder geschikt. En als gevolg daarvan is het dus überhaupt de vraag welke programmatische rol aan contextgebieden kan worden toegekend. Tussen nadruk op wendbare begrippen en nadruk op contextgebieden lijkt een fundamentele spanning aanwezig, die noch door NINA, noch door vele internationale projecten, lijkt te worden onderkend. Zelfs de thema/blok-constructie van het PLON was hiervoor niet de oplossing. Deze spanning wordt des te groter als er ook nog de veronderstelling van toenemende motivatie aan wordt toegevoegd. *"De belangrijkste inzichten in de natuurkunde (concepten) worden in contex- ten geplaatst, dat wil zeggen behandeld in voor leerlingen herkenbare situaties, die motivatie voor het leren tot gevolg hebben"* (aldus NINA). Alle onderzoek geeft hiervoor eigenlijk te weinig ondersteuning, er is hooguit sprake van een bescheiden effect. Blijft eigenlijk alleen het idee van grotere relevantie over, waarbij we nog onderscheid moeten maken tus- sen door leerlingen ervaren relevantie, waarvoor de empirische evidentie eveneens mager is, en door onderwijsgevers nagestreefde relevantie.

Dat roept toch de vraag op hoe dat nu kan. Hoe komt het dat de verwachtingen van vele 'deskundigen' ten aanzien van de effecten van curriculuminnovaties zo weinig ondersteuning vinden in curriculumonderzoek. Het allerbelangrijkste is natuurlijk dat die verwachtingen bij nader inzien gewoon op drijfzand kunnen zijn gebaseerd. Zo is een kernprobleem dat de keuze van contexten de top-down *veronderstelde* motivatie van leerlingen zou moeten dienen. En tegelijk moet zo'n curriculum, alleen al om zichzelf te rechtvaardigen tegenover sceptici, nog meer overladen zijn dan het gewone pro- gramma toch al is, zodat docenten in feite heel weinig ruimte hebben om leerlingen écht hun interesses te laten volgen. Kortom, als je dit meeneemt, zijn de onderzoeks- uitkomsten misschien nog wel verrassend gunstig te noemen. Daarnaast worden ge- woonlijk een aantal relativerende factoren genoemd, waarvan overigens onduidelijk is

hoe reëel die zijn voor wat betreft hun gevolgen. Zo is er allereerst de kanttekening dat de uitvoering van innovaties in de onderwijspraktijk vaak heel anders is dan beoogd door de ontwerpers. Met betrekking tot contextrijk onderwijs betekent dat bijvoorbeeld dat docenten vaak geneigd zijn de aandacht voor de context tot een minimum te beperken, zeker als ze zich daar nog onvoldoende mee vertrouwd voelen. Als contextrijk onderwijs moet opleiden voor een examenprogramma waarin alle aandacht uitsluitend gericht is op het testen van inzicht in fundamentele concepten, dan zullen de docenten het laatste altijd voorrang geven boven het eerste. En dat betekent uiteraard ook dat van de verwachte positieve motivatie-effecten in de praktijk nog maar weinig overblijft. Voor leerlingen is het al snel duidelijk, het gaat gewoon om het kunnen rekenen met abstracte concepten en dat was altijd al het geval. Dat illustreert trouwens een ander onderschat probleem: voor zover van contexten al een positief effect op de motivatie kan worden verwacht, dan zal dit beperkt blijven tot een kwalitatieve behandeling. Het is leuk om van een bepaalde context ruwweg te weten hoe die werkt, maar het is een heel andere zaak om ook aan die context gerelateerde kwantitatieve problemen te moeten kunnen oplossen. Die voegen immers alleen als ze heel zorgvuldig gekozen worden nog iets toe aan het beter leren begrijpen van de context zelf. Deze overschatting van de motivatie-effecten van contexten laat zich ook nog op de volgende manier begrijpen. Voor docenten en ontwikkelaars, denkend vanuit 'traditioneel' natuurkundeonderwijs, zijn de contexten (in het onderwijs!) nieuw en aandacht trekkend, voor leerlingen echter zijn de contexten, als zodanig, op zich ruwweg bekend en is het de natuurkunde daarin die nieuw is. Daar komt nog bij dat, zoals nu aan de orde is, als in alle bètavakken contexten worden ingevoerd, de onderlinge verhouding tussen die vakken daardoor niet zal veranderen, en ook de verhouding tot de niet-bètavakken zich snel zal consolideren. Contextrijk bèta-onderwijs wordt al snel weer 'gewoon bèta-onderwijs' en een eventueel door docenten geïnduceerd motiveerend effect zal snel wegebben. Ofwel, het Hawthorne-effect dat er van uit kan gaan, zal snel zijn uitgewerkt.

Als NINA contexten serieus had willen nemen dan had dat weerspiegeld moeten worden in goed op elkaar afgestemde activiteiten en producten, als onderwijsvisie, scholingsprogramma, ontwikkelprogramma, syllabus, voorbeeldtoetsen, examenprogramma en implementatietraject. Alleen dan mag je verwachten een enigszins radicalere curriculumvernieuwing te kunnen realiseren. Anders krijgt de onderwijspraktijk te veel verschillende, strijdige signalen, met als gevolg dat docenten, terecht, altijd voor de veiligste optie zullen kiezen, en dat is diegene waarmee ze vertrouwd zijn, of die daar het minst van afwijkt. Van Berkel¹²² heeft deze veranderingsproblematiek beschreven onder de noemer 'Normal Science Education and its resistance to change'. Zo kan het gebeuren dat als heel belangrijk bedoelde innovaties toch vaak slechts in heel verdunde vorm de onderwijspraktijk bereiken. In onderwijskundig jargon heet dit dan het grote verschil tussen het 'beoogd' curriculum en het 'onderwezen' curriculum.

¹²² B. van Berkel (2005). *The Structure of Current School Chemistry*. Utrecht: CD-β Press. Hij voert hierin, naar analogie met het werk van Thomas Kuhn, de term 'normal science education' in, om mee aan te geven hoe weerbarstig een vigerende onderwijspraktijk kan zijn voor verandering.

Daartussen zit onder andere nog het ‘geschreven’ curriculum en daar zit een andere bottleneck. Goed onderwijsmateriaal maken is een vak dat tijd vraagt om te leren. Zeker als het gaat om het vormgeven van een nieuwe visie, doelstellingen en onderwerpen, dan kunnen er jaren nodig zijn van ontwikkeling en uitproberen, voordat de nodige expertise is opgebouwd. Expertise die ook betrekking dient te hebben op toetsing en nascholing. De noodzaak van het opbouwen van deze expertise door docenten wordt tegenwoordig grenzeloos onderschat (ook door NINA). Natuurlijk is het prachtig, zoals nu gebruikelijk is in beleidskringen, en door schoolleiders maar al te graag wordt overgenomen, om te benadrukken dat docenten professionals zijn, maar die professionaliteit heeft per definitie betrekking op vertrouwde zaken en niet op zaken die echt nieuw zijn. Dan zal die nieuwe professionaliteit eerst nog ontwikkeld moeten worden en, zoals Van Berkel ook aangeeft, kan bestaande professionaliteit dan juist ook een hinderpaal zijn. Maar de noodzaak van zo’n leerproces zal allereerst erkend moeten worden en dat vraagt dan vervolgens om tijd en geld. En van beide veel meer dan er gewoonlijk voor wordt uitgetrokken.

Kortom, als we het over contextrijk onderwijs hebben, is er in de eerste plaats sprake van een verandering in onderwijsvisie, waarvoor wellicht goede argumenten zijn aan te voeren, maar deze blijken niet of nauwelijks te kunnen worden ontleend aan de leereffecten bij leerlingen. Het gaat in de eerste plaats om een kwestie van ‘updating’, om een curriculum dat weer ‘van deze tijd’ is. En om opnieuw Freudenthal⁶⁸ te citeren: *“Innovation cannot effect any more than adapting education to a changing society, or at the best can try to anticipate the change. This alone is difficult enough.”* En daarmee is de aard van de ‘update’ ook per definitie discutabel, want wat is immers ‘van deze tijd’? Toch zijn er in de loop der jaren veranderingen aan te geven, dus ‘updates’, die nu niemand meer terug zou willen draaien. Om een extreem voorbeeld te noemen, niemand zal nog de terugkeer van de oude HBS-mechanica willen verdedigen, vermoed ik. Ook zal niemand nog willen volhouden dat de computer geen rol moet spelen in het natuurkundeonderwijs. Maar voor het gebruik van contexten is dat minder eenduidig, zeker als het zou gaan om voorgeschreven contexten. In het NINA voorstel gaat het daar in ieder geval nauwelijks om. Dat maakt begrijpelijk dat zij nogal uit de losse pols wat mogelijke contexten rondstrooien, zonder zich af te vragen of daarmee wel een goed uitgebalanceerd curriculum kan worden vormgegeven, waarmee een breed en authentiek beeld van de natuurkunde wordt aangeboden. Dat laten ze kennelijk over aan de docenten, of aan de boekenschrijvers. Daardoor verliest hun pleidooi veel aan overtuigingskracht. Zoals eerder beschreven komt uit de concept-syllabus bovendien duidelijk naar voren dat het NINA eigenlijk alleen gaat om fundamentele natuurkundige concepten, en dat contexten dus op zijn best gezien moeten worden als mogelijk aangename verpakking. Voor vele docenten zal daarmee de kou uit de lucht zijn, maar dat laat ons wel zitten met de vraag of een curriculum dat eenzijdig gericht is op fundamentele concepten, al of niet verpakt in toepassingscontexten, wel een optimale aanpak is om te voldoen aan het brede scala van nastrevenswaardige doelstellingen.

Context als middel gaat nog steeds uit van het dominante belang van het leren van algemene fundamentele fysische concepten, ook al weten we dat het met de hanteerbaarheid daarvan voor leerlingen meestal niet best gesteld is. Algemene fysische con-

cepten zijn relevant voor de natuurkundige, maar nog niet voor diegene die zich dat vak nog moet eigen maken. Voor die leerling kan het nog niet gaan om de relevantie van concepten *als zodanig*, maar zou relevantie van te leren onderwerpen, mijns inziens, een bruikbaarere uitgangspunt zijn. Op het gevaar af me in ieders ogen volstrekt belachelijk te maken wil ik daarom pleiten voor een curriculum dat niet uitgaat van het dominante belang van (individuele) concepten, maar van het belang van het leren over bepaalde *onderwerpen*. Naar mijn indruk is dit verwant aan de, eerder beschreven, door Ogborn voorgestelde verschuiving van aandacht voor concepten naar aandacht voor (samenhangende) verklaringen. Immers, als we natuurkunde zien als het begrijpen en verklaren van natuurkundige fenomenen, met inbegrip van het ontwerpen van daarop gebaseerde techniek, dan zijn concepten daartoe middel en geen doel. Ik denk dat het daarom zinvol is om natuurkunde ook zo te onderwijzen. Uitgaande van zinvolle, voor leerlingen herkenbare onderwerpen, verwerven leerlingen daarvoor functionele natuurkundige kennis. In ons huidig jargon: context als doel, concepten als middel. Ofwel, het NINA uitgangspunt op haar kop. Mijn argument hiervoor is niet dat zo'n curriculum noodzakelijkerwijs motiverender of leerbaarder zou zijn, maar wel dat het beargumenteerbaar maatschappelijk relevanter kan zijn. (Relevantie is dus niet hetzelfde als motivatie.) Terwijl het bovendien een dusdanig gevarieerd beeld kan geven van alle aspecten van natuurkundige activiteit, dat het daardoor een optimale uitwerking kan bieden voor een breed spectrum van gewenste doelstellingen. Natuurlijk doet zo'n curriculum een zwaar beroep op de keuze van zinvolle onderwerpen. Zinvol volgens wie en op grond waarvan? Velen zullen mijn voorstel volstrekt afwijzen als driedubbele staatsdidactiek, maar is dat eigenlijk wel terecht? Stel dat het juist is dat een goed vormgegeven curriculum bestaande uit zorgvuldig gekozen onderwerpen een betere uitwerking geeft aan onze doelstellingen, is het dan niet juist *gewenst* om dat ook voor te schrijven? Waarom zou het geen staatsdidactiek zijn om te zeggen dat leerlingen kennis van bepaalde concepten moeten hebben en zou het wel staatsdidactiek zijn om te zeggen dat ze kennis van bepaalde onderwerpen moeten hebben. Is dat niet gebaseerd op een overschatting van de waarde van theoretische concepten als uitiem doel voor het natuurkundeonderwijs? Maar er is ook nog een andere benadering mogelijk. Zou het bijvoorbeeld niet wenselijk zijn om ook de (beroeps)praktijken waarin leerlingen nu en later moeten functioneren als zinvol uitgangspunt voor curriculumkeuzen te nemen, zoals gepropageerd wordt door aanhangers van handelingspraktijken? Het is de moeite waard, lijkt me, om deze mogelijkheid nader te exploreren. Deze term handelingspraktijk weerspiegelt een recente verandering in de retoriek over het gebruik van contexten. In plaats van 'situatie als context', zoals in de jaren zeventig en tachtig van de vorige eeuw, gaat het nu om de slogan: 'praktijken als context'. Deze optiek wordt vooral in de huidige vernieuwing van het biologie- en chemieonderwijs centraal gesteld en veel minder door NINA. Het is daarom de moeite waard om ook hier wat dieper op in te gaan, om te zien of deze benadering nog nieuwe perspectieven zou kunnen bieden die tot nu toe aan onze aandacht kunnen zijn ontsnapt. Om iets te noemen, zouden mijn 'onderwerpen' van hierboven, niet op zijn minst voor een deel, ook gelijkgesteld, of geïnspireerd, kunnen worden door het idee van 'handelingspraktijken'? Of ligt hier soms een heel andere visie op natuurkunde als wetenschap en op natuurkundeonderwijs aan ten grondslag?

4.5 Handelingspraktijken als oplossing?

4.5.1 Nieuwe scheikunde en nieuwe biologie

Het is daarvoor nuttig eerst nog even preciezer te kijken naar de uitkomsten van het onderzoek van Van Berkel, ook al gaat dat dan over het scheikundeonderwijs. Op grond van zijn analyse van het huidige schoolvak scheikunde, concludeert hij dat dit bestaat uit een dominante substantiële (dat wil zeggen inhoudelijke) substructuur, gebaseerd op corpusculaire theorie, in combinatie met een specifieke filosofische substructuur, bestaande uit op onderwijs toegesneden positivisme, en een specifieke pedagogische substructuur, gericht op inwijding en voorbereiding van toekomstige chemici. Daarnaast concludeert hij dat het curriculum van de schoolscheikunde geen binding meer heeft met, en daardoor geïsoleerd is geraakt van, een zevental belangrijke aandachtsgebieden: ‘common-sense’ kennis en intuïties (geen binding met de basis van wetenschappelijke kennis), situaties uit het dagelijks leven en maatschappij (geen binding met herkenbare relevante situaties), het schoolvak natuurkunde (geen binding met verwante wetenschappelijke kennis), de geschiedenis en filosofie van de wetenschap (geen binding met de dynamiek van en reflectie op wetenschap), de chemische technologie en het chemisch onderzoek (geen binding met beroepsperspectieven). En daardoor zou deze rigide geïsoleerde curriculumstructuur ook sterke weerstand kunnen bieden tegen hervormingspogingen.

De vraag waarom het schoolvak deze structuur heeft gekregen, beantwoordt Van Berkel in termen van Kuhn’s wetenschapstheorie¹²³ en opvatting over natuurwetenschappelijk onderwijs. Kuhn beschreef hoe de opleiding van studenten tot doel heeft hen efficiënt in te leiden in het puzzeloplossend vermogen van de huidige natuurwetenschap, overeenkomend met het vigerende paradigma in een periode van ‘normal science’, onder andere door hen te trainen in het oplossen van paradigmatische problemen en opgaven.

Uit Van Berkel’s onderzoek komt, op grond van de raadpleging van zowel een nationaal als een internationaal forum van deskundigen, ook naar voren dat de huidige schoolscheikunde er eigenlijk niet in slaagt haar eigen doelen te realiseren, met name niet waar het gaat om het leren begrijpen, verklaren en voorspellen van chemische verschijnselen. In plaats daarvan wordt leerlingen veelal een verzameling feiten en voorschriften aangeleerd, waar ze verder niet zoveel mee kunnen. Dit brengt hem eerst tot de formulering van kenmerken van wat hij ‘normal chemistry education’ noemt, om vervolgens te concluderen dat daarop gebaseerd secundair chemieonderwijs niet te legitimeren is voor *alle* leerlingen. Alleen bij leerlingen die later chemie gaan studeren kan uiteindelijk inzicht in chemische verschijnselen ontstaan. Voor de meerderheid van de leerlingen bestaat deze mogelijkheid echter niet. Juist omdat ‘normal chemistry education’ bestaat uit een dogmatische en domeinspecifieke training van toekomstige chemici, gericht op inwijding en voorbereiding, zou het vervangen moe-

¹²³ Een nadere beschrijving van Kuhn en andere wetenschapsfilosofische stromingen volgt in latere hoofdstukken.

ten worden door chemieonderwijs dat zich kritisch richt op de processen van ontdekking, ontwikkeling en toetsing van chemische kennis, in samenhang met onderwijs dat zich richt op de relaties tussen chemie, technologie en maatschappij. Daarbij gaat het dus om inwijding en voorbereiding van leerlingen op het functioneren als burger in maatschappelijke situaties en praktijken. En daarvoor zou een voorwaarde zijn dat er een *gecoördineerde* vervanging plaatsvindt van de beschreven rigide combinatie van de substantiële, filosofische en pedagogische structuur van het huidige curriculum van de schoolscheikunde. In deze analyse herkennen we enkele zaken die al eerder aan de orde zijn geweest en die, naar mijn oordeel, *mutatis mutandis*, ook meer of minder van toepassing zijn op het huidige natuurkundercurriculum. Interessanter is om te zien in hoeverre, idealiter, contextrijk onderwijs, zoals bijvoorbeeld door middel van een curriculum à la PLON, al niet reeds grotendeels voldoet aan de gestelde voorwaarde voor verandering.

Ik denk dat we kunnen stellen dat de filosofische substructuur ook in dat curriculum nog voornamelijk geënt was op een wetenschapsfilosofisch positivisme, terwijl de invulling van de inhoudelijke substructuur grotendeels werd bepaald door de traditionele vakstructuur, al waren er zeker pogingen die, maatschappelijk relevant, aan te vullen en minder dominant te laten zijn. Wat betreft de pedagogische substructuur was het PLON-curriculum wel degelijk een heel eind opgeschoven in de door Van Berkel aangegeven richting, voor zover dat überhaupt mogelijk is wanneer je twee verschillende doelgroepen met éénzelfde curriculum moet bedienen. Er zijn immers pogingen geweest om dat curriculum te richten op 'het functioneren als burger in maatschappelijke situaties en praktijken', ook al ging dat niet zover om die 'praktijken' zelf expliciet tot uitgangspunt te maken voor curriculumconstructie. En ook al aarzel ik om te zeggen dat dit een hoofdoorzaak is van het beperkte succes van dat curriculum, blijft toch de vraag hoe het anders kan als die keuze voor 'praktijken' wel gemaakt wordt. Of zou dat beperkte succes juist komen doordat de eerste twee substructuren niet wezenlijk waren veranderd? Eerlijk gezegd, heb ik daarover zo mijn twijfels.

Nu was een onderzoeksvoorstel¹²⁴ van een aantal jaren geleden er juist op gericht meer helderheid te verschaffen over de mogelijkheden van zo'n expliciete keuze voor 'praktijken'. Daarvoor werd de volgende argumentatie gegeven. Allereerst werd vastgesteld dat in gebruikelijke context-conceptbenaderingen de keuze van contexten, en van te onderwijzen kernconcepten, teveel gebeurt vanuit de dominantie van de disciplinaire vakstructuur, waardoor de relatie tussen concepten en contexten niet optimaal is. In het PLON-curriculum hebben we daarvan voorbeelden gezien. Dat leidt er dan toe dat het nagestreefde inzicht voor leerlingen geen duidelijke functie heeft ten aanzien van hun *handelen* in de gekozen context. De belangrijkste oorzaak hiervan werd toegeschreven aan het feit dat het leren in context vooral werd vormgegeven vanuit een wetenschappelijk *verklaringsmotief*, en te weinig vanuit een voor de context relevant *handelingsmotief*. Op die manier ontstaat er een incongruentie, eerder omschreven als didactische frictie, tussen de inhoudelijke zin van de context voor leerlingen en de te leren wetenschappelijke kennis. Deze incongruentie is in feite steeds herkenbaar in alle contextrijke curriculumvernieuwingen. Terwijl de aan deze uitwerking van de concept-

contextbenadering inherente principiële spanning ook niet wordt opgelost door meer nadruk te leggen op toepassing van de geleerde verklarende kennis. Het doordenken en uitwerken van de vormgeving van een curriculum vanuit natuurwetenschappelijk relevante *handelingspraktijken* zou echter mogelijk wél een oplossing kunnen bieden voor deze principiële spanning. In authentieke handelingspraktijken, waarin mensen op een functionele wijze natuurwetenschappelijke kennis gebruiken in voor de gegeven praktijk relevante handelingen, doet zich deze principiële spanning immers niet voor. Daarom verdient een aanpak die uitgaat van een didactische bewerking van authentieke handelingspraktijken mogelijk verdere uitwerking en doordenking. Daarmee kan niet alleen de dominantie van het denken vanuit de vakstructuur worden doorbroken, maar wellicht ook een harmonische oplossing worden gevonden voor de noodzakelijke aandacht voor technologie in het natuurwetenschappelijk onderwijs.

Aldus een enigszins geparafraseerde weergave van de motivering van een indertijd bij de PROO (Programmaaad voor Onderzoek van het Onderwijs) ingediende onderzoeksaanvraag¹²⁴. De achtergrond hiervan was dat er, in de laatste decennia, internationaal steeds meer aandacht is gekomen voor wat ‘communities of practice’ wordt genoemd. Theoretisch gezien liggen hieraan twee verwante benaderingen ten grondslag, die ruwweg bekend staan als ‘situated cognition’ en de ‘cultuurhistorische benadering’. Van Oers⁹⁵ benadrukt dat hierin een andere contextopvatting wordt gehanteerd, namelijk niet de eenvoudige opvatting van ‘situatie als context’, maar ‘the notion of context amounts to embeddedness in cultural activities’. Ofwel, ‘activiteit als context’¹²⁵. Recentelijk heeft deze benadering, ook in ons land, een nieuwe impuls gegeven aan het denken over het natuurwetenschappelijk onderwijs, onder andere door het werk van Van Aalsvoort¹²⁶, wier argumentatie ik hier nu grotendeels, maar (te?) beknopt, eerst zal volgen.

Eerder heb ik geformuleerd dat de hoofdtaak van onderwijs ligt in ‘het begeleiden van leerlingen tot zelfstandige participatie in de maatschappij’. Maar de vraag is dan natuurlijk wel hoe je die maatschappij ziet. Van Aalsvoort onderscheidt drie tradities die zowel in het onderwijs als in de wetenschap werkzaam zijn, met elk een eigen mensen maatschappijbeeld. Daarmee gaat ze een stap verder in haar analyse dan Van Berkel. De natuurwetenschappelijke traditie ziet, volgens haar, chemie vooral als een ‘body of knowledge’ dat zo getrouw en zo accuraat mogelijk aan de volgende generatie moet worden overgedragen. Daarbij wordt uitgegaan van de veronderstelling dat al-

¹²⁴ P.L. Lijnse & K.Th. Boersma (2004). Naar een samenhangend, op handelingspraktijken gebaseerd, curriculum voor de natuurwetenschappen. PROO-aanvraag.

¹²⁵ In het volgende zal ik niet ingaan op de uitwerkingen als onderwijsleertheorie (zoals de klas als ‘learning community’, zie latere hoofdstukken), maar me richten op de uitwerking die gericht is op de keuze van inhoud.

¹²⁶ J.G.M. van Aalsvoort, W. de Vos & A.H. Verdonk (1994). Wetenschapsgebondenheid van de school-scheikunde en de activiteitstheorie van Leont’ev. *TD-β*, 12, 35-57.

J.G.M. van Aalsvoort (2000). *Chemistry in Products*. Proefschrift. Utrecht: UU.

J.G.M. van Aalsvoort (2004). Activity theory as a tool to address the problem of chemistry’s lack of relevance in secondary school chemical education. *International Journal of Science Education*, 26, 1635-1651.

Joke van Aalsvoort (2007). Welke context-conceptbenadering is het meest geschikt voor het ontwikkelen van scheikundeonderwijs? *TD-β*, 24, 59-74.

gemene en objectieve kennis, verworven op school, met name in toekomstige beroepssituaties maar ook in het dagelijks leven toegepast kan worden. Als tweede traditie noemt zij de geesteswetenschappelijke, die meer gericht is op de ontplooiing van leerlingen, en als derde de cultuurhistorische. Deze laatste gaat er van uit dat chemie een conglomeraat is van maatschappelijke praktijken (net zoals de maatschappij zelf, waarvan de wetenschap er dan één is). Leerlingen nemen daaraan deel op door het onderwijs vormgegeven wijze. Door deze deelname, zo is de veronderstelling, leren leerlingen waar het om gaat in zo'n maatschappelijke praktijk, en welke motieven zo'n maatschappelijke praktijk bepalen.

Zij beschrijft dat het begrip 'authentieke handelingspraktijk' is afgeleid van het begrip 'maatschappelijke activiteit'. Zij beroept zich hiervoor op de activiteitstheorie van Leont'ev, volgens wie maatschappelijke activiteit te definiëren is als een 'georganiseerde manier om maatschappelijke motieven te realiseren'. Voorbeelden van zulke maatschappelijke activiteiten, nog steeds volgens Van Aalsvoort, zijn voedselvoorziening, voorziening in medicijnen, energie, nieuws, enzovoort. Binnen een maatschappelijke activiteit zijn weer verschillende niveaus te onderscheiden. In de activiteit voedselvoorziening kan men bijvoorbeeld onderscheid maken tussen productie en distributie van voedsel, en in de activiteit productie van voedsel weer tussen kwaliteitsverbetering door middel van onderzoek en kwaliteitscontrole (volgens de Warenwet). Van Aalsvoort stelt nu voor om het chemieonderwijs te vernieuwen door daarvoor een aantal geschikte, aan de chemie gerelateerde maatschappelijke praktijken (waarvan de wetenschap er één is) als uitgangspunt te nemen. Dit geeft leerlingen de gelegenheid kennis te maken met de gang van zaken in deze praktijken, alsmede met de motieven die deze praktijken vorm geven. Bovendien stelt dit leerlingen in staat verschillende rollen of beroepen uit te proberen waardoor ze een beeld krijgen van de wijze waarop ze een bijdrage zouden kunnen gaan leveren aan deze maatschappelijke praktijken. Enerzijds geeft de nadruk op rollen aan dat leerlingen voorbereid worden op toekomstige uitoefening van een beroep. Anderzijds duidt de keuze voor motieven van maatschappelijke praktijken, als inhoud van het onderwijs, op het belang dat gehecht wordt aan reflectie op het eigen functioneren *in* een praktijk, alsook op het maatschappelijk functioneren *van* die praktijk.

Deze nogal abstracte theorie is door Van Aalsvoort gebruikt in haar uitwerking voor het aanvankelijk scheikundeonderwijs. Zij formuleert daartoe, onder andere, het volgende design criterium: "*(initial) chemical education should represent society as a conglomerate of chemical or chemistry related social practices, which are mediated by means of concepts.*" Op grond hiervan beargumenteert zij dat het mogelijk is om een scheikunde curriculum voor de basisvorming te baseren op een aantal goed gekozen handelingspraktijken, met daarin harmonisch functionerende begrippen en modellen. "*In cultural-historical tradition a curriculum can be considered as a sequence of models when the handling of the material world is concerned, and a succession of contexts, this is to say social practices and roles, when the social world is concerned.*" Voor de invulling hiervan richt zij zich niet zozeer op de wetenschap chemie (dat is immers slechts één van de maatschappelijke praktijken), maar op de maatschappelijke sector chemie, dat wil zeggen de chemische industrie in een zeer ruime betekenis van het woord. Zo hebben veel industriële processen, ook buiten de chemi-

sche industrie, chemische aspecten, bijvoorbeeld de voedselindustrie. In deze sector staat het bereiden van ‘middelen’ (voedingsmiddelen, geneesmiddelen, wasmiddelen, etc.) voorop. In overeenstemming hiermee kiest zij vervolgens voor het volgende uitgangspunt (1994, p. 48): *“De activiteit waarop het schoolvak scheikunde zich dient te oriënteren is de bereiding van middelen die in een maatschappelijke behoefte voorzien. Een bezwaar van sommigen zal zijn dat met deze oriëntatie op de industrie de wetenschap uit het blikveld verdwijnt. Dit is maar ten dele waar. Vanuit het gezichtspunt van de activiteitstheorie is het bereiden van middelen een maatschappelijke activiteit waarin sprake is van arbeidsdeling. Het motief van wetenschappelijke chemie is dan een ondersteuning van de bereiding van, eventueel nieuwe, middelen. Als zodanig kan chemie als wetenschap binnen een bereidingscontext aan bod komen. Een groot voordeel hiervan is dat de relatie van wetenschap met andere activiteiten bloot komt te liggen, waardoor inzicht in het motief voor leerlingen gemakkelijker bereikbaar wordt.”*

Op grond van deze overwegingen heeft Van Aalsvoort een concreet curriculum ontwikkeld voor het aanvankelijk chemieonderwijs in 3 HAVO/VWO. Figuur 48 geeft de inhoud daarvan weer. Het betreft *“a sequence of school versions of chemical or chemistry-related social practices. Several practices are represented in order to assist pupils in the development of a motive goal. With the expression ‘school version’ I want to draw attention to the fact that school versions and social practices differ. Using a concept from activity theory, I would say that the most important difference between a school version and a social practice lies in their motive. After all, a school version is meant for educational aims, whereas a social practice aims at the provision for other human needs.”*

In figuur 48 zien we wat we ons kunnen voorstellen bij het uitgangspunt van chemie-gerelateerde praktijken en aandacht voor verschillende rollen daarin. Deze aanpak lijkt dus, in principe, zinvolle nieuwe mogelijkheden te bieden en dat maakt het begrijpelijk dat een soortgelijke optiek nu ook wordt uitgewerkt ter ondersteuning van de vernieuwing van het scheikunde curriculum voor de bovenbouw van HAVO/VWO. Bulte et al. schrijven als volgt: *“‘Learning chemistry in context’ thus comes down to actively involving students in an educational practice for which new chemistry concepts are functional. We think such educational practices should be closely related to authentic chemical practices that appeal to students. Our use of terms such as ‘context’ and ‘practice’ is closely related to the one used in activity theory. This terminological clarification still leaves unanswered several useful questions. Which educational practices are useful in secondary chemistry education? Are these craft practices, or technological enterprises in which students learn how products for our lives are prepared? Are these scientific enterprises, in which students learn to understand the nature of science? Or do we have to create classroom communities, in which curiosity about the (more fundamental) understanding of certain chemical phenomena is the driving force? At the curriculum level, probably some kind of balance will have to be found amongst such different educational practices.”*^{127,128} Zij lijken dus het probleem te onderkennen hoe je zowel de gewenste diepgang in begripsvorming, als de keuze van te onderwijzen begrippen, ‘organisch’ kunt laten volgen uit de didactisering van geschikt gekozen praktijken. Zal het niet vaak toch zo zijn dat zowel die keuze als diepgang geforceerd moet worden, omdat dat nu eenmaal gewenst is voor ‘goed’ scheikundeonder-

¹²⁷ A.W.M. Bulte, H.B. Westbroek, O. de Jong & A. Pilot (2006). A research approach to designing chemistry education using authentic practices as contexts. *International Journal of Science Education*, 28, 1063-1086.

¹²⁸ A. Pilot & A.M.W. Bulte (2006). The use of ‘contexts’ as a challenge for the chemistry curriculum: Its successes and the need for further development and understanding. *International Journal of Science Education*, 28, 1087-1112.

wijs? Dus dat er sprake zal zijn van dezelfde didactische frictie die ik eerder voor het PLON-curriculum heb beschreven? Ofwel, in hoeverre zal ontsnapping aan de invloed van de gebruikelijke vakstructuur ook werkelijk worden toegestaan door alle bij het scheikundeonderwijs betrokken ‘stakeholders’?

Table 1. <i>Chemistry in Products: table of contents.</i>	
<p>Learning unit 1: A start with chemistry Section 1: What is chemistry about? Section 2: The importance of chemical reactions Section 3: The bunsen-burner Section 4: Tools of the trade Section 5: Safety in chemistry</p>	<p>Learning unit 4: Medicines Section 1: The need for medicines Section 2: The preparation of a homoeopathic medicine Section 3: Quality control by the chemical analyst Section 4: The preparation of a regular medicine Section 5: The improvement of a preparation (I) Section 6: The improvement of a preparation (II) Section 7: Chemical computation about products and production processes</p>
<p>Learning unit 2: Foods Section 1: The need for foods Section 2: The preparation of apple-sauce Section 3: The preservation of foods Section 4: The production of apple-sauce Section 5: Quality control by the chemical analyst Section 6: Quality improvement by the chemical researcher</p>	<p>Learning unit 5: Energy Section 1: The need for energy Section 2: The making of warmth Section 3: The generation of electricity Section 4: The production of fuels Section 5: The quality of fuels Section 6: The quantity of fuels Section 7: Burning and extinguishing</p>
<p>Learning unit 3: Water Section 1: The need for water Section 2: Which raw material is most suitable for the production of drinking water? Section 3: The production of drinking water Section 4: Quality control by the chemical analyst Section 5: Quality improvement by the chemical researcher Section 6: The design of a plant by the chemical engineer</p>	<p>Learning unit 6: Cosmetics Section 1: The need for cosmetics Section 2: The preparation of soap Section 3: The production of soap Section 4: In search of new soaps Section 5: The development of a new product Section 6: Emulsions and emulsifiers</p>

Figuur 48. De inhoud van ‘Chemie in Producten’ (uit: Van Aalsvoort, 2004).

Uit figuur 48 blijkt ook, ‘at face value’, hoe in ieder geval vanuit het oogpunt van het door de ontwerper ontworpen curriculum, een aantal van de door Van Berkel genoemde isoleringen in principe kan worden opgelost. Blijft uiteraard de vraag of dit ook geldt voor het door de leerlingen ervaren curriculum. Wat dat betreft kan de laat-

ste geciteerde opmerking van Van Aalsvoort, over het verschil in motieven tussen een authentieke sociale praktijk en de gedidactiseerde versie daarvan, dodelijk zijn. Dat kan immers betekenen, net zoals we dat voor het PLON-curriculum hebben beschreven, dat het voor leerlingen gewoon gaat om scheikunde ‘as usual’! Het probleem is nu net hoe je leerlingen een *voor hen* zinvol motief kunt bieden voor hun leerproces, en dat volgt niet noodzakelijkerwijs direct uit een gedidactiseerd praktijkmotief. Ofwel, de didacticisering van authentieke ‘communities of practice’ vraagt om nader uit te werken didactische criteria. Een voorbeeld daarvan is het volgende, door Van Aalsvoort geformuleerde, design criterium: “(initial) chemical education should clarify that concepts mediate social practices; This implies that chemical education should pay attention to the following aspects of concepts:

- a. the function of concepts in the practice of which they are a part;
- b. the multiperspective character of concepts by relating them to several practices.”

In een authentieke handelingspraktijk kunnen we spreken van specifieke handelingen die door de deelnemers aan die praktijk competent moeten kunnen worden uitgevoerd. Voor hen is de functionele relatie tussen hun kennis en vaardigheden en die handelingen evident. In de gedidactiseerde handelingspraktijk moet deze relatie voor leerlingen echter nog op een aangepaste wijze gelegd worden. Dat wil zeggen, voor leerlingen moet er nog een handelingsmotief gaan ontstaan op grond waarvan zij de relevantie en betekenis kunnen ervaren van de nog te leren kennis en vaardigheden. Hiervoor schiet, naar mijn mening, de door Van Aalsvoort gehanteerde, cultuurhistorisch geïnspireerde, didactiek tekort. Immers, het uitgangspunt dat “*the teacher demonstrates skills and abilities, and indicates standards of good performance, whereas pupils appropriate these by imitation*”, garandeert geenszins het ontstaan van een voor het leren van die kennis en vaardigheden richtinggevend handelingsmotief. Daarvoor lijkt het vooral nodig om, bij het didactiseren van de handelingspraktijk, het overkoepelende handelingsmotief van begin af aan inhoudelijk te problematiseren, waardoor de te leren kennis en vaardigheden voor leerlingen functioneel worden gekoppeld aan een aaneenschakeling en in-elkaar-nesting van inhoudsgerelateerde motieven en activiteiten. Aansluitend bij het door Van Aalsvoort genoemde ‘multiperspective character of concepts’ doet zich het probleem voor dat kennis en vaardigheden die op deze manier onderwezen worden naar verwachting in eerste instantie sterk gesitueerd, dus praktijkgebonden, kunnen zijn. Waarmee de vraag wordt opgeroepen in welke mate expliciet recontextualisatie moet en kan plaatsvinden bij toepassing in andere gedidactiseerde handelingspraktijken. Ook al hebben we bij het PLON-curriculum besproken dat deze contextgebondenheid wel leek mee te vallen, in die zin dat de begripsproblematiek, die zich voordeed, niet direct daaraan toe te schrijven viel.

Het is interessant dat ook de commissie voor de vernieuwing van het biologieonderwijs (CVBO) niet alleen de (of een?) concept-contextbenadering heeft omarmd, maar ook de interpretatie van ‘praktijk’ als context. Op zich is het niet verwonderlijk dat deze commissie niet uitgaat van de interpretatie ‘situatie’ als context. In het biologieonderwijs is het immers vanzelfsprekend dat het in eerste instantie gaat om reële objecten (planten, dieren, mensen, ecosystemen) in reële situaties, en dit blijft ook als

referentiekader aanwezig als het gaat om de behandeling van meer abstracte biologische theorieën, zoals, bijvoorbeeld, genetica. Dat blijft uiteraard ook het geval binnen de interpretatie ‘praktijk als context’, wat dus betekent dat beide interpretaties elkaar in feite kunnen aanvullen. Deze commissie zegt over hun context-interpretatie het volgende: “Onder een context verstaan we een ‘praktijk’, waarbinnen een aantal cultuurhistorisch bepaalde activiteiten worden uitgevoerd, die gericht zijn op het realiseren van doelen die in die context worden nagestreefd. Bij de uitvoering van voor de context kenmerkende activiteiten worden veelal specifieke materialen, gereedschappen, symbolen en kennis gebruikt. Een context heeft eigen spelregels, die bepalen hoe mensen met elkaar omgaan, welke dingen belangrijk zijn en hoe zaken moeten worden opgevat. De context bepaalt dan ook in meer of mindere mate de specifieke betekenis die biologische kennis daarin heeft.

Een voorbeeld van een context is een huisartsenpraktijk, waaraan deelgenomen wordt door huisartsen, patiënten en assistenten. De praktijk is er op gericht problemen met de gezondheid van patiënten te voorkomen of te behandelen. Daartoe voeren huisartsen, patiënten, en assistenten een aantal activiteiten uit die complementair zijn: de patiënt laat zich onderzoeken, en volgt adviezen op van de huisarts, die terzijde wordt gestaan door een assistent. Huisartsenpraktijken in Nederland werken volgens regels van de beroepsgroep over opleiding, tarieven, nascholing, etc. In de huisartsenpraktijk wordt gebruik gemaakt van specifieke apparatuur.”¹²⁹

De commissie specificiert dit nog verder, als volgt: “Het uitvoeren van activiteiten binnen contexten is zowel voor kinderen als volwassenen van existentieel belang, omdat daarmee primaire en secundaire behoeften worden vervuld en antwoorden gevonden op de vraag wie ze zijn en wat ze waard zijn. In veel contexten wordt echter niet alleen gestreefd naar de vervulling van de behoeften van de deelnemers, maar wordt ook een maatschappelijke functie vervuld. Een huisarts is er niet primair om zijn eigen praktijk in stand te houden, maar om mensen die ziek zijn te helpen te genezen. Veel contexten produceren producten of leveren diensten die betekenis hebben voor anderen die niet direct aan de context deelnemen. Op grond van de doelstellingen waar contexten zich op richten en de wijze waarop daarin gebruik wordt gemaakt van biologische kennis, is het zinvol een onderscheid te maken tussen drie typen contexten:

- leefwereldcontexten
- beroepscontexten
- wetenschappelijke contexten

Leefwereldcontexten zijn in essentie gericht op de vervulling van de behoeften van hun deelnemers. In het gezin gaat het om de vervulling van de primaire behoeften (ontwikkeling van de eigen identiteit en de vervulling van fysieke behoeften) en secundaire behoeften (amusement, vakantie, etc.). Beroepscontexten zijn primair gericht op het vervullen van een maatschappelijke functie; daarbij wordt (biologische) kennis gebruikt om producten en diensten te leveren. In beroepscontexten is biologische kennis een middel om de doelstellingen van de context te kunnen realiseren. In wetenschappelijke contexten gaat het niet primair om het leveren van producten en diensten, maar om het genereren van wetenschappelijke kennis. De maatschappelijke functie daarvan is niet altijd, of niet altijd direct, aanwezig. De drie typen contexten zijn niet voor alle leerlingen van belang en evenmin gedurende hun hele schoolloopbaan. De relevantie wordt enerzijds bepaald door de vraag aan welke contexten ze zelf deelnemen en anderzijds door de vraag op welke contexten zij zich met hun opleiding richten. VWO-leerlingen,

¹²⁹ CVBO (2004). *Vernieuwd biologieonderwijs van 4 tot 18 jaar*.

bijvoorbeeld, richten zich op een wetenschappelijke opleiding en op beroepen waarmee zij zich daarvoor kunnen kwalificeren.”

Bovenstaande uitwerkingen van ‘praktijk als context’ vertonen veel overeenkomsten, maar toch is er ook verschil. Van Aalsvoort blijft, vanuit haar aansluiting bij Leont’ev, heel dicht bij de keuze van ‘nuttige’ maatschappelijke praktijken, waarin goederen geproduceerd en geconsumeerd worden, ter vervulling van menselijke behoeften. Bulte et al. voelen al aankomen dat zo’n keuze, als het om een heel curriculum gaat, wel heel sterk zal gaan afwijken van wat gebruikelijk is en vragen zich daarom af of er toch niet ook een belangrijke rol moet zijn weggelegd voor ‘fundamenteel’ wetenschappelijke praktijken, gedreven door ‘nieuwsgierigheid als motief’.

De CVBO, ten slotte, rekt dit praktijkbegrip nog verder op door ook leefwereldcontexten er in te betrekken, en daarmee wordt in feite weer alles mogelijk. Ook al zal in de didactische uitwerking van al deze mogelijkheden meer aandacht dan gebruikelijk gericht moeten zijn op het handelen (van mensen, onderzoekers, werkenden, producenten en consumenten, etc.) in die praktijken.

4.5.2 Handelingspraktijken voor natuurkunde: een gedachtenexperiment

Terug naar de natuurkunde. Kunnen handelingspraktijken ook een waardevolle bijdrage leveren aan een natuurkundecurriculum? Laten we daartoe eerst opnieuw kijken naar wat NINA hierover zegt. Voor het VWO legt NINA de nadruk op ‘onderzoekscontexten’, dat wil zeggen op *“situaties die zijn verbonden met de wetenschappelijke disciplines waaruit de natuurwetenschappelijke schoolvakken zijn afgeleid. (...) Doel is dat leerlingen een goed beeld krijgen van het huidige natuurkundige onderzoek. Deze contexten kunnen laten zien dat natuurkundig onderzoek spannend is en volop in beweging.”* Naar mijn indruk gaat het hier niet zozeer om de handelingspraktijk ‘natuurkunde als wetenschap’, waarin het handelen van de onderzoekers centraal staat, maar om de inhoudelijke opbrengst van dat handelen, dat wil zeggen de natuurkundige kennis. Natuurlijk kunnen deze twee zaken wel degelijk ook in functionele samenhang worden gezien, maar dat vraagt dan wel om een niet triviale verandering in de gebruikelijke didactiek en het lijkt me nog maar de vraag of NINA die ook voor ogen heeft. Daarnaast onderscheidt NINA ook ‘beroepscontexten’, dat wil zeggen *“situaties ontleend aan een maatschappelijke functie waarbij natuurkundige kennis wordt gebruikt om producten en diensten te leveren.”* Dit lijkt in de nu bedoelde richting te gaan, zij het dat deze toch beperkt blijft tot ‘situaties’. Er wordt ook gesproken van ‘toepassingsgerichte en technologische contexten’, dat wil zeggen *“situaties waarin de toepassingen van de natuurkunde in andere wetenschappen en de technologie centraal staan. Deze contexten en de daarmee geassocieerde handelingspraktijken zijn met name functioneel voor het HAVO onderwijs.”* Nu wordt dus wel expliciet gerefereerd aan ‘handelingspraktijken’, maar tegelijkertijd gaat het nog steeds om ‘toepassing in situaties’ en dus niet om de praktijken zelf. Over het HAVO-onderwijs wordt vervolgens nog gezegd: *“In vergelijking met het huidige programma is er meer nadruk op actuele en innovatieve beroepscontexten. Hierdoor kunnen leerlingen een beeld krijgen van de ontwikkeling en toepassing van natuurkundige kennis in technologische beroepssectoren. Doordat leerlingen in deze contexten betekenisvolle activitei-*

ten uitvoeren, raken zij vertrouwd met relevante handelingspraktijken. Ook de maatschappelijke toepassingen en implicaties van techniek worden zichtbaar gemaakt in de contexten.”

Als we nu kijken hoe dit concreet is uitgewerkt in de domeinen en contexten van figuur 28, dan lijkt de conclusie gerechtvaardigd dat de optiek van handelingspraktijken, ondanks de retoriek, daarin geen leidende rol heeft gespeeld. Wat opnieuw de vraag oproept of dat dan wel had gekund en of dat dan iets anders, c.q. beters, had opgeleverd? Laten we, als gedachtenexperiment, dat eens uitproberen. Een probleem daarbij is wel dat de keuze van maatschappelijke praktijken à la Van Aalsvoort nu veel moeilijker is, omdat er, in vergelijking met de chemie, veel minder duidelijk sprake is van een natuurkunde-gerelateerde industrie. Maar misschien kan haar overzicht van ‘domains of labour according to human needs’ ons verder helpen. Mijn ‘fysische’ invulling daarvan moet u alleen zien als een indicatief probeersel, omdat ik me zeker niet competent voel om hierin voldoende validiteit te claimen. Voor zover ik er überhaupt inhoud aan kan geven, kom ik toch vooral uit bij de techniek. Het moge waar zijn dat ‘natuurkunde overall is’ (om de titel van een bekende leergang te parafraseren), maar tegelijkertijd is ze overall behoorlijk onzichtbaar. Behalve als een aspect van heel complexe, vooral technische, werkterreinen, c.q. verzamelingen van praktijken. Stel dat mijn invulling, in ieder geval voor de verdere gedachtenvorming, enig hout snijdt, dan kunnen we een aantal zaken constateren. In de eerste plaats lijkt het zo te zijn dat de centrale activiteit die in alle beroepsvelden (behalve bij de natuurkunde als wetenschap) vraagt om natuurkundige kennis en vaardigheden neerkomt op ‘ontwerpen’. En uiteraard op het uitvoeren, gebruiken en controleren daarvan. Daar komt ‘natuurkunde als maatschappelijke activiteit’ kennelijk op neer. Daarmee dringt zich ook op dat het helemaal niet vanzelfsprekend is dat een schoolvak als natuurkunde, zoals wij dat nu kennen, überhaupt op het programma staat. In het beroepsonderwijs lijkt daar in ieder geval geen plaats voor te zijn, niet alleen omdat elke beroepsopleiding wat dat betreft zijn eigen specifieke invulling nodig heeft, maar ook omdat het vooral om interdisciplinaire zaken gaat.

En wat betekent dat dan voor een HAVO-programma als dat pretendeert op die beroepsopleidingen voor te bereiden? Zou dat dan ook niet met veel meer aandacht voor allerlei vormen van techniek moeten worden ingevuld? Of is het juist het AV-karakter, het algemeen vormende, dat rechtvaardigt dat dat programma toch nog vooral ‘klassiek’ wetenschapsgeoriënteerd is? En dat kan worden volstaan met een oriëntatie op beroepen en niet met een voorbereidende opleiding daarvoor? Daardoor komt dan niet de vervulling van allerlei maatschappelijke behoeften aan de orde, maar alleen de ‘behoefte’ aan natuurkundige verklaring van allerlei fenomenen, terwijl die, in het spectrum van die maatschappelijke behoeften, slechts een ondergeschikte rol speelt. Zou dat programma, in cultuurhistorische zin, dan een soort grootste gemene deler moeten worden ter oriëntatie op een diversiteit van mogelijke beroepspraktijken (en staat dat dan ook gelijk met ‘algemene vorming?’), of zou een oriëntatie op een gemotiveerde selectie uit mogelijke beroepspraktijken de voorkeur verdienen? Hoe dan ook, in ieder geval zou dat vragen om een verdere doordinking en keuze van specifieke praktijken en van de mogelijkheden om die adequaat te kunnen didactiseren. In die didactisering komt dan niet alleen aan de orde welke concepten en vaardig-

heden functioneel zijn voor de gekozen praktijken, maar ook welke maatschappelijke rollen daarin uitgewerkt kunnen worden. Te denken valt daarbij aan rollen als: ontwerper, producent, gebruiker, consument, patiënt, kwaliteitscontroleur, veiligheidscontroleur, wetgever, laborant, onderzoeker, burger, al naar gelang de praktijk die aan de orde is.

Arbeidsterreinen	Natuurkunde-gerelateerde praktijkvelden
a Voeding	Verpakkingstechniek
b Gebouwen	Bouwtechniek
c Kleding	Productietechnieken
d Gezondheid, zorg	Medische techniek
e Natuurlijke omgeving	Klimaat- en milieu techniek
f Energie, ruwe materialen	Energievoorziening, zware industrie
g Werktuigen, apparaten	Werktuigbouw, (elektro)techniek
h Infrastructuur, transport	Weg- en waterbouw
i Informatie, communicatie	IC-technologie
j Educatie	Natuurkundeonderwijs, voorlichting
k Defensie	Militaire technologie
l Kunst, cultuur, wetenschap	Woord-, beeld-, geluidstechniek Fundamenteel en toegepast onderzoek
m Arbeid, economie	Regelgeving ten aanzien van kwaliteit en veiligheid
n Recreatie	'Leisure'-techniek

Figuur 49. Een poging om binnen de belangrijkste maatschappelijke arbeidsterreinen natuurkunde-gerelateerde praktijken te onderscheiden.

Als we nu met deze ogen opnieuw naar de NINA HAVO-domeinen en contexten kijken, dan zien we enige ad hoc overlap voor wat betreft aandacht voor techniek. Maar de wijze van behandeling daarvan verschilt drastisch. Gaat het in de eerste plaats om techniek als illustratie en context van fysische kernbegrippen en verklaringen, zoals bij NINA, of gaat het om het zo goed mogelijk weergeven van een authentieke praktijk, met daarin aandacht voor de verschillende rollen van deelnemers aan die praktijk? Al is het nog niet echt helder hoe een goede didactisering van zo'n praktijk er uit kan zien, duidelijk is wel dat die aanzienlijk zal afwijken van de gebruikelijke technische toepassing als context.

In dit opzicht is het ook interessant om te zien óf en hoe het beschreven PLON-HAVO-bovenbouwcurriculum al een stap op weg was naar een curriculum op basis van handelingspraktijken. Laten we daartoe eerst weer kijken naar het eerder beschreven thema 'Verkeer'. Dat ging in feite over de behandeling van mechanica ter 'verklaring van' verkeerssituaties. Kunnen we 'verkeer' nu ook opvatten als een handelingspraktijk? Mijn inziens niet direct in de zin van een maatschappelijke praktijk gericht op de vervulling van een menselijke behoefte, maar wel als, in overeenstemming met de CVBO, een leefwereldpraktijk van verschillende soorten verkeersdeelnemers, zoals voetgan-

gers, fietsers, automobilisten. Een praktijk waarin het gedrag van de deelnemers, met het oog op veiligheid, zuinigheid en milieu, gereguleerd wordt door verkeerswetgeving. Zou dit een startpunt kunnen zijn voor verdere uitwerking van de handelingspraktijk 'Verkeer'? In principe lijkt me dat mogelijk, maar dan doen zich onmiddellijk problemen voor. Kom je vanuit deze praktijk ooit functioneel uit bij de gebruikelijke mechanica, en mocht dit al lukken, wat is dan de pretentie van die functionaliteit? Gaat het dan alleen om functioneel 'inzicht' in het waarom en hoe van verkeersregels en situaties, of is er ook de pretentie dat dat inzicht het verkeersgedrag in positieve zin kan beïnvloeden? Ofwel, deze problematiek is niet wezenlijk anders dan al beschreven bij het PLON-thema. En die zou wel eens inherent kunnen zijn aan het idee van leefwereldpraktijken als zodanig.

Laat ik daarom nu de maatschappelijke route naar 'Verkeer' onderzoeken, dat wil zeggen een ontwerppraktijk als uitgangspunt nemen, bijvoorbeeld die van de ontwerper van auto's, in het bijzonder gericht op aspecten van zuinigheid en veiligheid. Dan kunnen inderdaad zaken als de constructie van stroomlijning, veiligheidsgordels en kreukzones aan de orde komen (net als in het PLON-thema), maar dan niet alleen de fysische verklaring van hun werking. Dan zullen ook materialen en materiaaleigenschappen, technische en esthetische aspecten, afwegingen van kosten en baten, kwaliteitsbeoordeling en regelgeving, etc. aan de orde moeten komen, om enigszins recht te doen aan een authentieke ontwerppraktijk. Dat betekent onvermijdelijk dat de behandeling complex zal worden, een diversiteit aan onderwerpen zal bevatten, waarin de fysische begrippen zullen verdrinken. Bovendien zal bij de didactisering onvermijdelijk aandacht moeten worden besteed aan (fysische) basiskennis, die ontwerpers gewoon beschikbaar hebben, maar leerlingen nog niet, waardoor het ontwerp motief dat aan de praktijk ten grondslag ligt, geregeld naar de achtergrond zal verdwijnen. Kortom, het aan authentieke praktijken inherente didactiseringsprobleem doet zich dan ook hier in alle hevigheid voor. Als we naar andere PLON-thema's kijken, dan zou het thema 'Weersveranderingen' zich wellicht nog redelijk eenvoudig laten omwerken tot de praktijk van (amateur)meteorologen, alhoewel het maatschappelijk belang als arbeidsgebied daarvan uiteraard beperkt is. Het thema 'Materie' komt nog het dichtst bij een feitelijke praktijk en het is niet toevallig dat dit juist gaat om een wetenschappelijke onderzoekspraktijk (zij het in historisch perspectief). Voor alle andere thema's zou een omwerking tot gedidactiseerde handelingspraktijk niet zonder aanzienlijke problemen zijn. Waaruit we dus mogen afleiden dat een aanpak door middel van handelingspraktijken inderdaad andere eisen stelt dan een contextrijke aanpak à la PLON. Biedt ze in vergelijking daarmee ook overtuigende voordelen?

Wat kunnen we hier nu uit concluderen? Zoals eerder aangestipt zou een aanpak door middel van gedidactiseerde handelingspraktijken een aantal van de door Van Berkel beschreven isoleringen kunnen opheffen. Ik denk dat dit ook voor het natuurkundeonderwijs kan gelden, al is het nog maar de vraag of dit, behalve achter het bureau, ook het geval zal zijn in de beleving van leerlingen. En het is ook de vraag of handelingspraktijken hiervoor noodzakelijk zijn. Naar mijn overtuiging levert een behandeling op grond van handelingspraktijken ruwweg dezelfde problemen op als eerder beschreven bij het PLON-project. De begripsvorming mag dan functioneel gericht zijn,

ze wordt daardoor niet eenvoudiger. Ook het probleem van de taal wordt er niet door opgelost, terwijl het zeer de vraag is of deze aanpak voor leerlingen motivatieverhogend zal zijn. Wel lijkt er een betere mogelijkheid om vanuit het praktijkmotief de leeractiviteiten voor de leerlingen inhoudelijk te motiveren en daarmee meer functionele samenhang in een praktijkbehandeling te brengen. Op curriculumniveau lijkt die samenhang vooralsnog veel moeilijker te verwezenlijken. Praktijken, gekozen uit verschillende arbeidsterreinen, vertonen geen inhoudelijke of functionele samenhang, anders dan dat het kennelijk gaat om een maatschappelijke behoefte, voor de vervulling waarvan (steeds andere) techniek ontworpen wordt, waarin ook (steeds andere) natuurkundige kennis een rol speelt. Kortom, de optimistische kijk op praktijkgericht chemieonderwijs, zoals eerder beschreven door Van Aalsvoort en Bulte et al., is volgens mij niet houdbaar voor het natuurkundeonderwijs. Trouwens, naar mijn bescheiden mening, is dat ook niet het geval voor het chemieonderwijs. Verschillende aanpakken hebben didactisch gezien verschillende voor- en nadelen, maar er lijkt vooralsnog geen aanpak te zijn die er zonder meer positief uitspringt, althans als we ons weer richten op veronderstelde leereffecten bij leerlingen. Wat me opnieuw tot de conclusie brengt dat het in de eerste plaats een kwestie is van onderwijsvisie, van wat je vindt dat de moeite waard is om te onderwijzen, die bepaalt of, in dit geval, handelingspraktijken de voorkeur verdienen boven een 'gewoon' contextrijk, of zelfs boven een gebruikelijk contextarm curriculum.

Blijft het feit dat als we het contextarme natuurkundeonderwijs uit zijn maatschappelijk, technisch en wetenschappelijk isolement willen verlossen, door in ieder geval uit te gaan van realistische contexten, we steeds tegen het probleem aanlopen dat deze al snel vragen om interdisciplinariteit. En dat blijkt zich, didactisch gezien, steeds slecht te verdragen met het onderwijzen van monodisciplinaire basiskennis. We blijken dan ook steeds vaker uit te komen bij (interdisciplinaire) techniek en technologie, wat bovendien om een verschuiving lijkt te vragen van verklaren (door middel van van natuurkundige basisprincipes) naar technisch ontwerpen. Beide problemen zijn al aan de orde geweest, zonder overigens een duidelijke oplossing te bieden. Des te frappanter dat er twee actuele ontwikkelingen gaande zijn die juist daar bij aansluiten. Enerzijds de ontwikkeling van het nieuwe vak 'Natuur, Leven en Technologie' (NLT), en anderzijds het nieuwe vak 'Ontwerpen en Onderzoeken' op de Technasia. Kunnen die dan wel een oplossing bieden voor de genoemde problemen en de verondersteld broodnodige curriculumvernieuwing? Het lijkt me zinvol ook daar, zij het opnieuw beknopt, verder op in te gaan. Het eerste komt in het volgende hoofdstuk aan de orde, het tweede komt veel later. Maar eerst, ter afronding, de vraag wat dit hoofdstuk ons nu eigenlijk te bieden had.

4.6 Update

In januari 2011 vond op het Ministerie van Onderwijs een 'belangrijke' bijeenkomst plaats. De commissies voor de vernieuwing van het onderwijs in de natuurwetenschappen overhandigden hun adviezen voor nieuwe examenprogramma's aan de mi-

nister. Zo ook NINA. Behalve haar eindadvies¹³⁰ is er ook een evaluatierapport verschenen van de door NINA uitgevoerde experimenten¹³¹. Toch goed om, voordat we nu conclusies trekken, alsnog even te kijken of deze documenten, in het licht van het voorgaande, nog nieuwe gezichtspunten opleveren. Opnieuw zal ik me hoofdzakelijk richten op de context-concept-discussie, al doe ik daarmee NINA misschien onrecht, bijvoorbeeld door geen aandacht te besteden aan haar voorstellen voor een nieuwe examenindeling. Daarnaast is er een hoeveelheid, onder auspiciën van NINA, ontwikkeld voorbeeldlesmateriaal dat het voorgestelde programma inmiddels concretiseert en illustreert.

Internationaal is het denken over contexten uiteraard ook voortgeschreden, maar gelukkig is er een recent overzichtsartikel dat deze voortgang in kaart zou moeten brengen. De auteurs daarvan concluderen als volgt: *“Context-based approaches have attempted to make the meaning of science concepts more relevant to students through the application of canonical knowledge to the real world. We would argue that context-based teaching is more than transfer or application of concepts to the real world. Rather, context-based teaching embodies a need-to-know principle: the context must legitimise the learning of concepts from the students’ perspectives, which is more likely to make their learning intrinsically meaningful. Following on from more recent research, the question then arises: How can classrooms afford students the opportunity for fluid transitions? (...) Fluid transitions between the sanctioned science content of school curriculum and student worlds can be realised when students actively engage in fields that contextualize inquiry and give purpose for learning. Furthermore, if teachers employ pedagogical approaches that encourage diffusion through the porous boundaries of the fields, they open up possibilities for the merging of students’ everyday literacies with the canonical science.”*¹³²

Wat zijn de kernpunten hierin? Toename van de relevantie, op basis van een ‘need-to-know’ vanuit het perspectief van de leerling. Het voorbeeld dat zij geven van een geslaagde ‘fluid transition’ betreft onderzoek naar de bedreigde waterkwaliteit van een meertje in de leefomgeving van de leerling. Is het toevallig dat ditzelfde probleem ook als illustratie wordt gekozen door Van Eijck⁸¹ in zijn beschrijving van, wat ik de actiecomponent heb genoemd, in een uitgebreide vorm van scientific literacy? Of is dit soms één van de weinige situaties waarin je dit ook in voldoende mate kunt bereiken? In ieder geval gaat het, vanwege de relevantie, in beide artikelen om het organisch laten functioneren van nieuwe know-how ter oplossing van een in de leefwereld ervaren authentiek probleem. De auteurs van het overzichtsartikel refereren echter niet expliciet aan authentieke handelingspraktijken, terwijl dit juist wel de optiek is van waaruit in de ‘nieuwe scheikunde’ aandacht besteed is aan waterkwaliteit¹³³. Kortom, in de discussie over ‘context-based approaches’ loopt nogal wat door elkaar, wat het er allemaal niet duidelijker op maakt.

¹³⁰ Commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs HAVO/VWO (2010). *Nieuwe natuurkunde, adviesprogramma’s voor HAVO en VWO*. Amsterdam: NNV.

¹³¹ L. Bruning, E. Folmer, W. Ottevanger & W. Kuiper (2011). *Curriculumevaluatie bètaonderwijs tweede fase. Examenpilot Nieuwe Natuurkunde HAVO/VWO 2007-2010*. Enschede: SLO.

¹³² D. King & S. M. Ritchie (2012). Learning science through real-world contexts. In: B.J. Fraser, K.G. Tobin & C.J. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook on Science Education* (pp. 69-79). Dordrecht: Springer.

¹³³ H.B. Westbroek (2005). *Characteristics of Meaningful Chemistry Education*. Utrecht: CD-β Press.

Wat doet NINA hier nu uiteindelijk mee? Met handelingspraktijken niets, die zijn verdwenen uit hun advies, contexten zijn daarin teruggebracht tot situaties, wat in ieder geval de duidelijkheid vergroot. Maar wel met ‘scientific literacy’, dat nu als (nieuw) kernpunt is opgenomen. *“Bij natuurwetenschappelijke geletterdheid gaat het niet alleen om kennis en toepassing van die kennis, maar ook om inzicht in de manier waarop natuurwetenschappelijke kennis tot stand komt in onderzoek en hoe de betrouwbaarheid van deze kennis beoordeeld kan worden.”* Hoe dat precies moet, wordt verder niet omschreven, maar wel dat het daarvoor belangrijk is om een verbinding te leggen met de toepassing van kennis in contexten. Over een spanning tussen een doel als ‘scientific literacy’ en een doel als ‘voorbereiding voor studie- en beroepskeuze’ wordt niet gerept. Contexten dienen kennelijk beide doelen, want in de examenprogramma’s zijn *“een aantal contextgebieden opgenomen die de snelle ontwikkeling van kennis in de kennissamenleving weerspiegelen en laten zien wat de maatschappelijke betekenis is van het vak natuurkunde. Dit laatste maakt het mogelijk het natuurkundeonderwijs voor leerlingen te profileren met het oog op vervolgonderwijs en beroepspraktijk.”* Ik denk dat dit een overschatting is van contexten. Contexten mogen nodig zijn voor beide doelen, maar zijn daarvoor zeker niet voldoende. Alles hangt af van hoe deze dan gebruikt worden. En het moge misschien waar zijn dat, qua doelstelling van het natuurwetenschappelijk onderwijs, het accent verschuift *“naar sleutelcompetenties voor een hoog opgeleide beroepsbevolking in een dynamische kennismaatschappij”*, zolang niemand weet wat hij zich daar precies bij moet voorstellen, brengt ons dit niet veel verder (en kan het ook weinig kwaad!).

“De overwegingen van de vernieuwingscommissies om de inhoud van de examenprogramma’s te structureren in concepten en contexten zijn:

- *de benadering sluit aan bij de snelle ontwikkeling van kennis en de kennissamenleving;*
- *de benadering sluit aan bij opvattingen over de aard van kennis, namelijk dat de betekenis van concepten contextafhankelijk is;*
- *de benadering maakt het mogelijk om samenhang binnen en tussen vakken te versterken;*
- *de benadering sluit aan bij de doelstellingen van de tweede fase: algemene ontwikkeling en vorming, en voorbereiding op het hoger onderwijs.*

In de uitwerking van deze uitgangspunten moet onderscheid gemaakt worden tussen toepassen van de concept-contextbenadering als een manier om inhoud en doelen te ordenen op curriculumniveau en als pedagogisch-didactische benadering op lesniveau. De opdracht van de vernieuwingscommissies gaat over de inhoud van natuurwetenschappelijke schoolvakken en wiskunde, ‘het wat’. De toepassing van de concept-contextbenadering in het examenprogramma is dus beperkt tot curriculumniveau. De didactische vormgeving van het lesprogramma (het ‘hoe’) is de autonome verantwoordelijkheid van het onderwijsveld.”

Figuur 50 toont de uiteindelijke (sub)domeinkeuzen. In vergelijking met figuur 28 en 29 is er een aanzienlijke vereenvoudiging opgetreden, wat zou kunnen betekenen dat de contextsoep uiteindelijk toch wat minder heet is geworden. Laat ik, alvorens hier nader op in te gaan, eerst proberen, op hoofdlijnen, de uiteindelijke kern van het NINA-advies, voor wat betreft de CCB, te pakken te krijgen.

Ten aanzien van het gebruik van contexten, constateer ik drie verschillende aanpakken (figuur 51). Het eenvoudigst lijkt de situatie in een subdomein als E1, Zonnestelsel en Heelal. Hier lijkt eigenlijk geen sprake te zijn van een contextgebied, maar van een

Inhoudelijke HAVO domeinen	Inhoudelijke VWO domeinen
B. Beeld en geluidstechniek B1. Informatieoverdracht B2. Medische beeldvorming B3. Optica	B. Golven B1. Informatieoverdracht B2. Medische beeldvorming
C. Beweging en energie C1. Kracht en beweging C2. Energieomzettingen	C. Beweging en wisselwerking C1. Kracht en beweging C2. Energie en wisselwerking C3. Gravitatie
D. Materialen D1. Eigenschappen van stoffen en materialen D2. Functionele materialen	D. Lading en veld D1. Elektrische systemen D2. Elektrische en magnetische velden
E. Aarde en heelal E1. Zonnestelsel en heelal E2. Aarde en klimaat	E. Straling en materie E1. Eigenschappen van stoffen en materialen E2. Elektromagnetische straling en materie E3. Kern- en deeltjesprocessen
F. Menselijk lichaam	F. Quantumwereld en Relativiteit F1. Quantumwereld F2. Relativiteitstheorie
G. Meten en regelen G1. Gebruik van elektriciteit G2. Technische automatisering	G. Leven en aarde G1. Biofysica G2. Geofysica
H. Natuurkunde en technologie	H. Natuurwetten en modellen
I. Onderzoek en ontwerp	I. Onderzoek en ontwerp

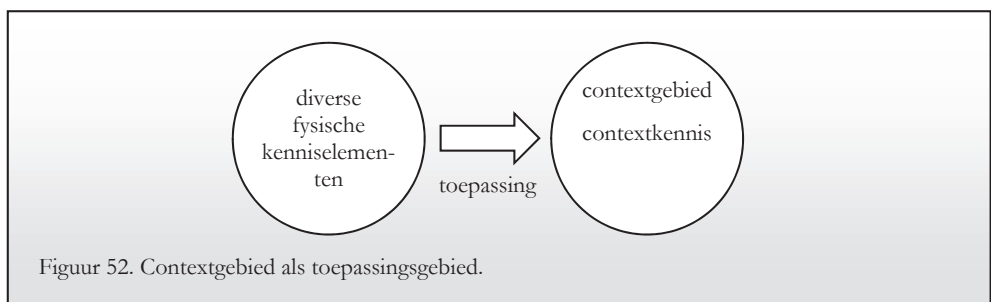
Figuur 50. De domeinen in het eindadvies (2010).

domeintheorie. Toch past daar een kanttekening bij. Een domeintheorie maakt immers gebruik van relevante basiskennis, zonder dat deze basiskennis op zich deel uitmaakt van de domeintheorie zelf. Als echter bij het onderwijzen van de domeintheorie de benodigde basiskennis nog niet beschikbaar is, zoals in de onderhavige situatie, dan moet die eerst ontwikkeld worden. En dus kun je zeggen dat het domein enerzijds object is van de domeintheorie, en anderzijds contextgebied voor de te leren basiskennis. Toch doet dit, in de lespraktijk, vaak gekunsteld aan, iets wat we eerder een didactische frictie hebben genoemd. De ontwikkeling van de basiskennis verstoort in feite de ontwikkeling van de domeintheorie. Een voorbeeld van deze frictie is als bij de behandeling van het zonnestelsel, eerst nog de centripetale versnelling moet worden behandeld. Als kennisdomein is de situatie echter eenvoudig. Het gaat er dan vooral om juist die kenniselementen te kiezen die het domein en de domeintheorie voldoende tot hun recht laten komen. In subdomein C1, Kracht en Beweging, is de situatie heel anders. Daarin gaat het puur om fysische basistheorie. Van deze basistheorie wordt alleen gezegd dat deze ‘in contexten’ moet kunnen worden toegepast. Ik

neem aan dat hiermee in principe bedoeld wordt ‘in alle relevante contexten’, wat inhoudt dat het onderwijs uiteindelijk moet resulteren in contextonafhankelijke, of anders gezegd, zeer wendbare begripsvorming. Dit komt overeen, lijkt me, met het centrifugale PLON-VWO-model van figuur 39. Het is ook een gang van zaken die in feite al lang deel uitmaakt, zij het in meer of minder uitgewerkte vorm, van het huidige natuurkundeonderwijs.

Uit HAVO advies NINA 2010		Uit Syllabus 2010
Subdomeinen	Contexten	Kenniselementen
B2. Medische beeldvorming	Medische beeldvorming	Eigenschappen van röntgenstraling en ioniserende straling Halveringstijd/dikte Ultrasoon geluid
C1. Kracht en beweging	Contexten	Aspecten van digitale beeldvorming Bewegingen Kracht als vector Newton 1, 2 Momentenwet
E1. Zonnestelsel en heelal		Ontstaan, structuur, eigenschappen van zonnestelsel, gravitatie Helio/geocentrisch wereldbeeld Gewichtloosheid en gewicht Ontstaan, structuur van heelal Astronomische waarnemingen

Figuur 51. Drie manieren waarop NINA omgaat met contexten (mijn interpretatie).



Rest tenslotte de situatie in een subdomein als B2, Medische Beeldvorming (zie figuur 52). Deze situatie komt het dichtst bij wat geschetst is bij de vormgeving van een thema à la PLON in figuur 35. Toch zijn er ook belangrijke verschillen, er is immers duidelijk geen sprake van een thema. Zo is er nu eerder sprake van een contextgebied als (technisch) toepassingsgebied. Er is duidelijk niet gekozen voor de thematische ‘eis’ van een inhoudelijk samenhangend fysisch kennisgebied, maar ook niet echt voor een

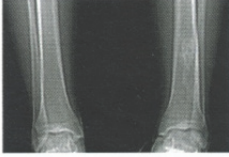
samenhangend toepassingsgebied. Als we dit subdomein preciezer analyseren, dan blijkt het enerzijds te gaan om een aantal onafhankelijke fysische kenniselementen, die ieder voor zich een onafhankelijke technisch-medische toepassing hebben. Het pri-maat ligt, mijns inziens, bij de gekozen fysica en niet bij de context, die zijn niet ge-lijkwaardig. Dat komt, in de voorbeeldmodule (figuur 53), tot uiting in de wijze van behandeling. Na een korte introductie van de context, worden, per onderwerp, eerst de fysische begrippen ‘recht-toe-recht-aan’ behandeld, om daarna te worden toege-past. Maar de behandeling vindt niet echt *vanuit* het contextgebied plaats, ook al is er wel een zekere afstemming tussen inhoud en context. Omdat het contextgebied voor-namelijk als toepassingsachtergrond functioneert, mag men, mijns inziens, ook niet verwachten dat dit, voor de leerling, leidt tot een sterke inhoudelijke samenhang.

Als deze analyse enig hout snijdt, maakt hij wel duidelijk waarom NINA de CCB alleen ziet als een manier om inhouden en doelen te ordenen op curriculumniveau. De leer-stof is nu verdeeld over domeinen, zoals ze vroeger verdeeld was in vakstructurele leerstofgebieden. Deze laatste spelen nog wel een hoofdrol in de keuze van domeinen, maar niet meer de enige rol. De gekozen leerstof moet ook globaal passen binnen een contextgebied. De inhoudelijke vernieuwing zit dan vooral in twee zaken: de keuze van nieuwe domeintheorieën als domein en context, en de keuze van nieuwe toepas-singsgebieden als domein en context. Het eerste zal, denk ik, niet veel weerstand op-roepen, omdat iedereen deze domeinen zal erkennen als, in principe, zinvolle natuur-kunde. Het frappante is daarbij dat NINA, wat dit betreft, grotendeels dezelfde keuzen heeft gemaakt als eertijds de CMLN in haar keuzegroepen. En het feit dat toen nog helemaal geen sprake was van contexten, illustreert al dat in deze domeinen, wat dat betreft, geen probleem schuilt. Trouwens, ook de keuzegroepen zijn weer terug, zij het, qua aantal, in beperkter mate! Maar het zijn vooral de verplicht gestelde nieuwe toepassingsgebieden waar de (irrelevante) beschuldiging van ‘staatsdidactiek’ op van toepassing zou kunnen zijn. In het HAVO-programma is dat, met enige goede wil, voor drie van de zeven domeinen het geval, voor het VWO-programma eigenlijk maar voor één van de zeven. Een verschil dat me trouwens goed verdedigbaar lijkt.

Waarom al die commotie dan, kunt u zich afvragen? Voor een deel heeft NINA die over zichzelf afgeroepen door een aanvankelijk ongelukkige presentatie, maar voor een deel ook doordat in het visiestuk de indruk werd gewekt alsof voor alle domeinen ook contexten zouden worden voorgeschreven. Of NINA dat ooit van plan is geweest, is mij niet bekend, in ieder geval is het uiteindelijke resultaat wat dat betreft veel be-scheidener dan aanvankelijk de bedoeling leek. Natuurlijk kan het ook zeer wel het geval zijn dat deze bescheidenheid juist mede is bewerkstelligd door de hevige protes-ten. Deze protesten lijken er wel duidelijk aan te hebben bijgedragen dat NINA zo expliciet benadrukt dat de CCB alleen consequenties heeft voor de ordening op curri-culumniveau, en niet voor de lespraktijk, dat wil zeggen geen *didactiek* voorschrijft. Dat lijkt op zijn minst strijdig, gezien het feit dat NINA ook enkele toepassingscontextge-bieden heeft opgenomen in het examenprogramma. Ook al blijkt uit de analyse hier-voor dat zelfs daarvoor geldt dat deze niet als contextgebied behandeld hoeven te worden. Het is voldoende als de afzonderlijke kenniselementen afzonderlijk worden toegepast in voorgeschreven contexten. En dat benadrukt tevens dat het NINA toch

BEELDTECHNIKEN

Medische beeldvorming begon met de ontdekking van röntgenstraling en is in de loop van de 20^e eeuw aangevuld met beeldvormingstechnieken waarbij de computer een onmisbare rol speelt. In een gemiddeld ziekenhuis worden per jaar meer dan 1 miljoen beeldopnamen gemaakt. In deze module worden de volgende technieken behandeld.



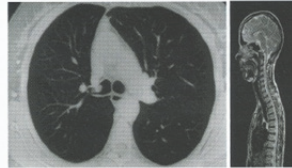
Röntgenfoto

De oudste techniek, gebruikt bij botbreuken en het onderzoek van het gebit. Een minder bekende toepassing is het zichtbaar maken van bloedvaten.

CT-scan en MRI-scan

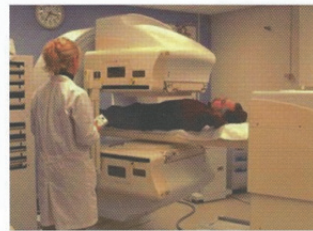
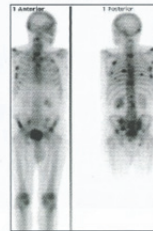
Een moderne toepassing is de CT-scan (CT = 'computed tomography'). Met röntgenstraling maakt de computer een beeld van de dwarsdoorsnede van het lichaam.

MRI ('Magnetic Resonance Imaging') berust op het feit dat protonen (waterstofkernen) zich gedragen als kleine magneetjes. In een sterk magnetisch veld zenden waterstofkernen radiogolven uit. Met ontvangers en een computer wordt een beeld gevormd. Zo onderscheidt men weefsels met verschillende hoeveelheden waterstof. De MRI-scan is nuttig om beelden van zachte weefsels te maken.



Nucleaire diagnostiek

Deze geeft een beeld van de lichamelijke functies: waar is de stofwisseling het actiefst, hoe is de doorbloeding van weefsels, waar ontwikkelt zich een tumor. De patiënt krijgt een kleine hoeveelheid radioactieve stof toegediend, een gammacamera of andere detector legt vast waar die stof in het lichaam terecht komt.



Echografie

Ultrageluid (= geluid met hoge frequenties) kaatst gedeeltelijk terug op het grensvlak van weefsels. Van de teruggekaatste golven maakt de computer een beeld van het inwendige. Algemeen bekend is de zwangerschapscontrole, maar je meet met echografie ook de stroomsnelheid van bloed. Voordeel is dat er geen ioniserende straling of radioactiviteit aan te pas komt.

Figuur 53. Een pagina uit de introductie van de module 'Medische Beeldvorming' voor 5 HAVO.

uiteindelijk vooral lijkt te gaan om nieuwe natuurkunde, in de meest letterlijke zin. Kortom, eigenlijk laat het programma nog bijna alle behandelmogelijkheden open en hebben de tegenstanders van 'staatsdidactiek', in dat opzicht, nauwelijks een poot om op te staan. En toch, het moet NINA worden nagegeven, heeft zij de programmati-

sche impasse rond contexten, die eigenlijk sinds de WEN bestond, doorbroken. Dat is zeker een verdienste, zelfs al heb je problemen met de uitkomst. De toekomstige praktijk zal moeten uitwijzen wat die uitkomst feitelijk gaat betekenen.

Als we nu naar het programma als geheel kijken, dan zien we dat, naast een wat overdreven accent op astronomie en astrofysica, in het HAVO toch wel een heel zwaar accent op techniek en technische toepassingen is komen te liggen. Daar zijn, vanuit beroepsperspectieven, misschien goede argumenten voor, maar het maakt het zeker niet aantrekkelijker voor meisjes (zie ook figuur 46). Een probleem waar we al sinds de jaren zeventig mee worstelen. In dat opzicht moet je van biologische en medische contexten zeker niet teveel verwachten. Immers, in die contexten gaat het toch steeds om ‘begrijpen hoe het zit’ en ‘hoe apparaten werken’. Ofwel, de mens als object en niet als subject. Dat is nu eenmaal wat de natuurkunde te bieden heeft, niet meer en niet minder. In onze maatschappelijke context slaat dat meestal niet echt aan bij meisjes, zoals ook uit het evaluatieonderzoek van de pilot naar voren komt¹³¹. Wat ook opvalt, is het volledig ontbreken van maatschappelijke problematiek als context. Dat past kennelijk niet meer in deze tijd. Er wordt nog wel gerefereerd aan de samenhangende ontwikkeling van natuurkunde en technologie, maar de invloed van en op maatschappelijke ontwikkelingen blijft buiten beeld. Tenzij, uiteraard, de docent dit zelf inbrengt, want, en daarin kan ik van harte met NINA instemmen, uiteindelijk komt het altijd aan op de docent. Die kan elk programma maken en breken! Uit de evaluatiestudie volgt dat docenten nog wel enige gewenning nodig zullen hebben, met name wat betreft de rol van contexten en nieuwe vakinhouden, waarbij voor hen het vernieuwingsaccent duidelijk op het laatste ligt.

Mogen we van deze programma's nu een sterk verbeterde motivatie van leerlingen verwachten? Ook wat dit betreft, leert onder andere de PLON-ervaring dat we niet bij voorbaat te hoog van de toren moeten blazen. Natuurlijk, fysici zullen dit programma als dichter bij toepassingen en meer up-to-date zien, maar dat zegt nog weinig over hoe leerlingen er tegenaan zullen kijken. Ook al kunnen contexten de natuurkunde, ook voor hen, herkenbaarder maken, en daardoor aanvankelijk misschien ook motiverender, zodra er gerekend moet worden is het gewoon weer een moeilijk vak, dat nog steeds ver af staat van het dagelijks leven van leerlingen. In dat opzicht is het label ‘scientific literacy’ ook niet geslaagd. In de keuze van domeinen en in de wijze van behandeling is er niet of nauwelijks sprake van een aanwezige of op te roepen ‘need-to-know’, van waaruit de concepten gelegitimeerd worden, en transfer plaatsvindt naar de leefwereld van de leerling. Het geleerde biedt wat dat betreft ook geen handelingsperspectief. Dat leidt tot de conclusie dat NINA vooral vanuit een fysisch top-down perspectief meer aandacht vraagt voor nieuwe natuurkunde en nieuwe toepassingen, maar zich wat de didactiek betreft niet op glad ijs heeft durven begeven. Daarbij zijn keuzen gemaakt die, in detail, zeker aanvechtbaar zijn, die ‘natuurkunde als vak’ geen makkelijk herkenbaar gezicht geven, maar die qua trend, denk ik, best verdedigbaar zijn. Wat betreft de regulering van contexten in het examenprogramma is een stap vooruit gezet, net zoals voor een verdere herziening van het examen. Maar of dit er echt toe zal leiden dat, zoals de al eerder geciteerde pretentieuze intro van ‘Natuurkunde leeft’ zegt, *“in 2015 (of later) leerlingen van HAVO en VWO komen, die natuurkunde*

waarden als een uitdagend vak dat door docenten met plezier wordt gegeven en jongeren motiveert te kiezen voor een exacte studie?, valt nog even te bezien.

4.7 Afsluiting

In het voorgaande heb ik al regelmatig gereflecteerd op de beschreven gang van zaken. Ik zal die kanttekeningen hier niet herhalen, maar volstaan met een enkele afrondende opmerking. Zo zou je kunnen concluderen dat wij ons, internationaal, weer wat hebben bijgewerkt! Immers, een aantal punten uit de ‘new vision’ komt in de NINA-voorstellen wel aan de orde, ook al is de uitwerking meestal uiterst mager. De beschreven PLON-ervaring maakt duidelijk dat NINA voor een belangrijk deel heeft geworsteld met vergelijkbare problematiek en voor een deel ook dezelfde fouten heeft gemaakt, vooral wat betreft presentatie en het oproepen van weerstand door te hoog gespannen verwachtingen. De uitwerking van voorbeeldmodules zou gebaat zijn geweest bij een sterkere structuur, vergelijkbaar met de beschreven themastructuur. Dan zou duidelijker aandacht zijn besteed aan de rol van practicum, dat nu een stiefkindje is geworden. Overigens heeft dit ook te maken met het feit dat het ontwerpen van contextgerelateerde experimenten op bovenbouwniveau een tijdrovende zaak is. Ook zou het oproepen en vasthouden van een ‘need-to-know’, wat ook in de PLON-thema’s onvoldoende uit de verf kwam, en van activerende werkvormen, structureler aandacht hebben kunnen krijgen. De beschreven problemen met contextrijk onderwijs zullen in meer of mindere mate ook dreigen voor de ‘nieuwe natuurkunde’. En wel des te meer, naarmate die natuurkunde ‘nieuwer’ zal zijn. Maar voor de implementatie van de nieuwe natuurkunde is programmatisch in ieder geval een (kleine) stap verder gezet dan indertijd door de WEN. Jammer is dat de aandacht voor ‘scientific literacy’ nu eigenlijk niet veel meer dan een ondergeschoven kindje is. Wat dat betreft zouden meer keuzemogelijkheden perspectief hebben kunnen bieden voor de spanning van eenzelfde curriculum voor verschillende doelgroepen. Toch biedt het NINA-curriculum, mijns inziens, in principe voldoende mogelijkheden om ‘scientific literacy à la ANW’ vorm te geven, maar dat moet dan nog wel gebeuren. Ook al moeten de geesten daar dan nog wel rijp voor worden gemaakt⁸⁷.

Een ander punt is dat de beschreven mogelijke isoleringen van het natuurkundeonderwijs, vanwege de dominantie van de vakstructuur, door de ‘nieuwe natuurkunde’ niet echt lijkt te zijn doorbroken. De dominantie van de vakstructuur is immers wel anders vormgegeven, maar in wezen niet echt minder geworden. En hoe begrijpelijk het ook is dat NINA het idee van handelingspraktijken niet serieus heeft kunnen nemen, een experimentele uitwerking daarvan zou daarom toch meer aandacht moeten krijgen in de toekomst. Dat zou dan mogelijk meer aansluiting geven bij de ontwikkelingen in de ‘nieuwe’ scheikunde en biologie. Of is daarvoor nu juist het vak NLT?

5 De discussies van vandaag: over NLT, samenhang en interdisciplinariteit

5.0 Doel

In dit laatste hoofdstuk over de nieuwste vernieuwing wil ik aandacht besteden aan de invoering van NLT. Ik wil me beperken tot een bespreking van de grote lijnen en een aantal kanttekeningen maken om, vanaf de zijlijn, een bijdrage te leveren aan de, mijns inziens, toch wat al te weinig kritische discussie over dit vak. En om ook deze ontwikkeling te plaatsen in een wat breder kader. Daarnaast wordt er tegenwoordig veel gepraat en geschreven over interdisciplinariteit en samenhang tussen de bèta-vakken. Wat wordt daar dan van verwacht?

5.1 Natuur, Leven en Technologie

5.1.1 De Visie

In 2003 verscheen de ministeriële nota 'Ruimte laten en keuzes bieden in de Tweede Fase HAVO en VWO', waarin een aantal redelijk ingrijpende veranderingen in de structuur van de tweede fase werd voorgesteld. Voor het schoolvak natuurkunde was natuurlijk het niet meer verplicht stellen van dat vak in het NG-profiel ronduit schokkend, maar daarnaast werd ook een aantal andere meer of minder drastische veranderingen voor het bèta-onderwijs voorgesteld, zoals bijvoorbeeld de afschaffing van ANW voor het HAVO. Onder druk van vele 'boze bèta's' uit onderwijs en industrie, daartoe opgeroepen door onder andere de NNV¹³⁴, werd er echter, ter compensatie, ook een nieuw profielkeuzevak voorgesteld. In de genoemde nota werd dit voorstel als volgt beargumenteerd:

Voortgezette (algemene) natuurwetenschappen

Daarmee is echter nog niet alles gezegd. Voor de bètaleerlingen kan het van groot belang zijn om zich verder te oriënteren op fundamentele, toepassingsgerichte en sociaal-culturele aspecten van de natuurwetenschappen, dan mogelijk is in het bestaande vak Algemene Natuurwetenschappen.

Daarom zal voor deze leerlingen een keuzevak (vrij deel) worden ontwikkeld met de standaardomvang (meer dus dan algemene natuurwetenschappen nu), met als werktitel 'voortgezette (algemene) natuurwetenschappen'. In zo'n vak kan enerzijds worden voortgebouwd op het huidige vak algemene natuurwetenschappen; anderzijds kunnen veel verdere aspecten uit de 'frontlinie' van de moderne exacte vakken worden opgenomen. Voor sommige leerlingen betekent zo'n vak wellicht een stimulans voor de bètastudie. Het vak moet keuzemogelijkheden bieden voor school en leerling, en kan worden ontwikkeld met een grote inbreng van de wetenschap en de docenten.

De minister volgde in feite nauwgezet het latere 'korte-termijnadvies' van de Profiel-

¹³⁴ Zie bijvoorbeeld <http://www.nnv.nl/NNV/CORE/00/24/A0.html>

commissies¹³⁵. Het is interessant om een aantal zaken uit dit advies hier in nog wat meer detail weer te geven.

2.5 Visie

Het geïntegreerde bètavak heeft tot doel de aantrekkelijkheid van bètaonderwijs te verbogen en de samenhang tussen de verschillende bètavakken te versterken. Daarom moet het geïntegreerde bètavak geen nieuw, geen apart vak, geen vijfde bètavak worden, maar een programma waarin en waardoor de samenhang van alle bètavakken bevorderd kan worden. (...) Zowel de vernieuwing van de bètavakken als de ontwikkeling van het geïntegreerde bètavak beogen bij te dragen aan aantrekkelijk en kwalitatief hoogstaand bètaonderwijs voor een groot aantal verschillende leerlingen. De Profielcommissie N is daarom voornemens te onderzoeken of het op lange termijn mogelijk is om voor het geïntegreerde bètavak een drietraps-bètaprogramma aan te bieden waaruit leerlingen, meer dan nu het geval is, keuzes kunnen maken. De eerste trap zou dan uit een brede oriëntatie bèta en techniek moeten bestaan. De tweede trap zou gevormd moeten worden uit verschillende modules. De laatste trap is het meesterwerk dat de brug zou kunnen slaan naar het hoger onderwijs. Het profielwerkstuk zou het afsluitende meesterwerk kunnen zijn. (...)

2.5.1 Concepten en contexten

In paragraaf 1.2.2 hebben de beide Profielcommissies aangegeven dat de concept-contextbenadering een goede manier is om een programma te ontwikkelen. De Profielcommissie N adviseert daarom om de concept-contextbenadering ook als uitgangspunt te kiezen voor het ontwikkelen van een programma voor het geïntegreerde bètavak. De commissie adviseert verder om, in lijn met bijvoorbeeld de ontwikkeling van het nieuwe scheikundeprogramma, in het geïntegreerde bètavak verschillende soorten contexten aan te bieden. Binnen de bètavakken afzonderlijk kunnen leerlingen zich de disciplinaire kernconcepten eigen maken en kennis maken met de vakspecifieke manier om vraagstukken en problemen te benaderen en naar oplossingen te zoeken. Binnen het geïntegreerde bètavak worden disciplinaire concepten en contexten in een breder perspectief aangeboden. Het geïntegreerde bètavak kan de transfer van disciplinaire kennis en vaardigheden in inter- en multidisciplinaire vraagstukken en problemen versterken. (...)

2.5.2 Uitdagend, inspirerend en oriënterend

Het geïntegreerde bètavak moet zodanig ingericht worden dat het programma voor alle leerlingen met een N-profiel aantrekkelijk en uitdagend is. Dit betekent dat het programma van het vak voor veel verschillende leerlingen interessant moet zijn. Bij het ontwikkelen van het programma is het dan ook van groot belang om rekening te houden met de grote verscheidenheid in belangstelling onder leerlingen. Het geïntegreerde bètavak moet leerlingen laten zien welke bijdrage bèta en techniek leveren als het gaat om het onderzoeken en oplossen van vraagstukken en problemen op tal van gebieden. De commissie is de overtuiging toegedaan dat de inter- en multidisciplinaire onderwerpen een sterke relatie met de actualiteit moeten hebben. (...)

2.5.3 Inspirerend voor docenten

De Profielcommissie N acht het zeer wenselijk dat het nieuwe vak ruimte voor de professionele kwaliteiten van vakdocenten biedt. Veel eerstegraads docenten blijven de ontwikkelingen in de natuurwetenschappen en techniek op de voet volgen en zouden hier graag in hun onderwijs aandacht aan willen besteden. Het bètavak biedt daarom voor een aantal docenten vooral ook een inhoudelijke uitdaging.

Verder is de Profielcommissie N ervan overtuigd dat dit vak niet alleen een inhoudelijk interessant perspectief zou moeten bieden, maar ook een carrièreperspectief. Het ontwikkelen van het geïntegreerde bètavak op schoolniveau is een uitdaging die niet voor elke docent is weggelegd. Deze verantwoordelijkheid zou moeten

¹³⁵ Korte-termijnadvies Profielcommissies Natuur en Techniek/Natuur en Gezondheid, Economie en Maatschappij/Cultuur en Maatschappij, VO/2865/D04/05-062. Enschede: SLO, 2005.

liggen bij een team van docenten. Zo'n team wordt aangestuurd door een coördinator. De schoolleiding kan deze verantwoordelijkheden plaatsen binnen het loopbaanbeleid van de school.

2.6 Natuur, Leven en Techniek: hoofdlijnen en inhoud

De Profielcommissie N adviseert 'Natuur, Leven en Techniek' te kiezen als naam voor het geïntegreerde bètavak, maar houdt zich aanbevolen voor een aansprekender benaming. De Profielcommissie N adviseert verder om het geïntegreerde bètavak samen te stellen uit verschillende modules. Het uitgangspunt is dat er meer modules ontwikkeld worden (ongeveer 10) dan er studielasturen zijn, zodat leerlingen zelf een keuze kunnen maken uit de verschillende modules. De onderwerpen van de modules moeten een beeld laten zien van de uiteenlopende uitdagende onderwerpen waarover de wereld van bèta en techniek zich in de 21ste eeuw uitstrekt. De onderwerpen zouden zich bij voorkeur af moeten spelen op de grensvlakken van de verschillende disciplines en daarbij gaat het om de transfer van disciplinaire concepten in geïntegreerde contexten. (...) Het geïntegreerde bètavak zou naast deze inhoudelijke verbreding en verdieping ook de gelegenheid kunnen geven aan leerlingen om zich op een meer inhoudelijke wijze te oriënteren op opleidingen en beroepen die aansluiten bij de modules. Hierbij is het werken aan ontwerp opdrachten vanuit een probleemgestuurde vraagstelling een goede mogelijkheid. Naast ontwerp opdrachten zijn er ook veel andere verschillende werkvormen mogelijk, bijvoorbeeld stages, projecten, colleges, veldwerk, enzovoort. Op deze wijze verwacht de Profielcommissie N dat het geïntegreerde bètavak een bijdrage kan leveren niet alleen aan een versterking van de samenhang tussen de bètavakken, maar ook aan een bewustere keuze voor een betere voorbereiding op het hoger onderwijs en op de ontwikkeling van een beroepsidentiteit.

2.6.1 Eigen karakter voor het HAVO en voor het VWO

Het geïntegreerde bètavak moet in het HAVO een andere invulling krijgen dan in het VWO. Niet alleen is de omvang van het vak op VWO groter, maar ook zal de oriëntatie op opleidingen en beroepen een ander accent moeten krijgen. Verder zal de inhoud zowel in het HAVO als VWO kunnen gaan om het toepassen van kennis in geïntegreerde contexten, maar in het VWO kan daarnaast ook de onderzoeksomgeving als context gekozen worden. In het HAVO ligt het accent, sterker dan in het VWO, op de ontwikkeling van een beroepsidentiteit. De Profielcommissie adviseert dan ook om voor zowel het HAVO als het VWO een eigen ontwikkeltraject op te zetten.

Leerlingen die het geïntegreerd bètavak kiezen, zullen over het algemeen of natuurkunde (profiel Natuur en Techniek) of biologie (profiel Natuur en Gezondheid) als profielvak volgen. Het betekent dat de kennis en vaardigheden van deze leerlingen van elkaar zullen verschillen. De Profielcommissie N verwacht dat leerlingen met een profiel Natuur en Gezondheid andere modules zullen kiezen, dan leerlingen met een profiel Natuur en Techniek. Mocht een leerling kennis op een bepaald gebied nodig hebben, dan is het zinvol om de kenniscomponent van een module te vergroten en bijvoorbeeld het projectdeel te verkleinen.

Het profielwerkstuk kan in de profielen Natuur en Techniek en Natuur en Gezondheid een afsluitend meesterwerk zijn in het onderwerp van één van de modules binnen het geïntegreerde bètavak. Het profielwerkstuk kan dan zowel een mono- als multidisciplinair karakter hebben. Dit meesterwerk zou tevens een brug kunnen slaan tussen de tweede fase van het voortgezet onderwijs en de bachelorfase in het hoger onderwijs.

Inmiddels is het door de minister voorgestelde ontwikkeltraject voltooid en is het zinvol te kijken naar wat er tot nu toe is ontstaan. De eerste opmerking die daarbij past is dat het op zich een knappe prestatie is om in zo'n relatief korte tijd zo'n geheel nieuw vak uit de grond te stampen, zeker gezien de uitgebreide scepsis die aanvankelijk zeker aanwezig was. De in het leven geroepen Stuurgroep heeft eerst een visie op tafel gelegd, die uiteraard grote overeenkomsten vertoont met de hierboven beschreven gedachten. Als doelen formuleert de Stuurgroep het volgende:

- Verbreding en verdieping bieden.

Ontwikkelingen in natuurkundeonderwijs

- Leerlingen zich laten oriënteren op een breed spectrum van vervolgstudies en beroepen.
- Leerlingen het belang laten ervaren van interdisciplinaire samenhang in de ontwikkeling van wetenschap en technologie.
- Bètaonderwijs beter laten aansluiten op nieuwe ontwikkelingen in samenleving, wetenschap en technologie in wisselwerking met het hoger onderwijs, onderzoeksinstituten en het bedrijfsleven.
- Meer keuzemogelijkheden bieden voor docenten en leerlingen in het bètaonderwijs op school, aansluitend op de expertise van docenten, de interesse van leerlingen en de mogelijkheden die de regio biedt.
- Bijdragen aan permanente innovatie van het onderwijs in de bètavakken¹³⁶.

Als middelen om dit te verwezenlijken noemt de Stuurgroep: interdisciplinaire en verdiepende modules die niet (of nog niet) passen in de bestaande bètavakken, teamvorming van docenten, en het leggen van duurzame contacten tussen voortgezet onderwijs, hoger onderwijs, onderzoeksinstituten en bedrijfsleven.

Ten aanzien van de inhoud wordt over NLT-onderwijs gezegd dat het leerlingen laat ondervinden dat:

- Wetenschap en technologie nieuwe mogelijkheden bieden om de kwaliteit van het leven te verbeteren, op het gebied van energie, wonen, transport, veiligheid, voedsel, gezondheid, milieu, voortplanting, communicatie, informatie, navigatie en automatisering.
- Enerzijds aan de ontwikkeling van wetenschappelijke kennis veel nieuwe mogelijkheden worden geboden door geavanceerde technologie, bijvoorbeeld in de vorm van satellieten, medische beeldvorming, computergebruik, microscopie op atomaire schaal en detectietechnieken; anderzijds de vooruitgang in de kwaliteit en de mogelijkheden van instrumentatie gebaat is bij nieuwe wetenschappelijke kennis.
- In veel wetenschappelijk onderzoek en technische ontwikkelingen gebruik wordt gemaakt van concepten en methoden uit diverse disciplines.
- In wetenschap en techniek gebruik van begrippen, algoritmes en heuristieken uit wiskunde en informatica vaak noodzakelijk is.

Over de context-conceptbenadering zegt de Stuurgroep dat deze als uitgangspunt wordt aanvaard. Maar ze voegt daar aan toe dat de interpretatie van dit begrip niet in alle vakgebieden hetzelfde is, omdat contexten soms als middel, soms als doel worden gezien. Ook wordt de modulaire opbouw als uitgangspunt overgenomen, omdat scholen dan keuzeruimte krijgen om een eigen invulling te geven aan inhoud en didactiek. Voor HAVO en VWO worden verschillende hoofdlijnen onderscheiden. In het HAVO-programma is het dat wetenschap en technologie nieuwe mogelijkheden bieden om de kwaliteit van het leven te verbeteren; voor het VWO is het dat wetenschap en technologie zich snel ontwikkelen.

¹³⁶ *Contouren van een nieuw bètavak. Visie op een interdisciplinair vak: Natuur, Leven en Technologie.* Stuurgroep NLT, 2007.

5.1.2 De uitwerking

Deze hoofdlijnen worden uiteindelijk uitgewerkt in een aantal domeinen (zie figuur 54). Ter invulling van deze domeinen zijn (april 2010) al vele modules ontwikkeld, of in ontwikkeling genomen, waardoor de contouren van het nieuwe vak zich inmiddels duidelijk hebben afgetekend. Op dit ontwikkelingsproces zal ik niet verder ingaan, maar me beperken tot enkele opmerkingen over het resultaat. Zoals al gezegd is het zonder meer knap om in zo korte tijd zoveel nieuwe modules beschikbaar te krijgen, waarbij we te maken hebben met een heel ontwikkel- en implementatieproces dat nog niet voltooid is. Al dringt zich natuurlijk wel onmiddellijk de vraag op wat nu eigenlijk het *vak* NLT inhoudt. Zijn er ook grenzen aan dat vak en waar liggen die dan? Maar alvorens daar op in te gaan is het nuttig om eerst een korte blik werpen op het examenprogramma. Dat kan immers een nadere indruk geven van wat als kern wordt gezien.

De toetsing van NLT vindt plaats in de vorm van een schoolexamen. Dat examen heeft betrekking op domein A, in combinatie met domein B, tenminste twee van de domeinen C t/m E en tenminste drie van de domeinen F t/m I.

Domein A bestaat uit dertien vaardigheden, onderscheiden in A1: Profieloverstijgende vaardigheden (zoals bijvoorbeeld communiceren), A2: Bèta-profielvaardigheden (zoals bijvoorbeeld onderzoeken) en A3: Vakspecifieke vaardigheden (zoals bijvoorbeeld vakspecifiek gebruik van de computer).

Per (sub)domein is een eindterm geformuleerd. Voor VWO-domein B, bijvoorbeeld: “De kandidaat kan een aantal voor de natuurwetenschap belangrijke wiskundige technieken en ontwikkelingen toepassen, dan wel recente theorieën uit de fundamentele natuurwetenschap uitleggen.” En voor VWO-domein C: “De kandidaat kan ontwikkelingen op het gebied van de aardwetenschappen uitleggen en daarbij relevante concepten gebruiken en toepassen in nieuwe situaties.”

Deze laatste eindterm weerspiegelt in feite een generieke formulering, die, mutatis mutandis, ook gebruikt wordt voor alle andere inhoudelijke VWO-domeinen.

Interessant is of en hoe in het HAVO-programma de andere hoofdlijn tot uiting komt. Een voorbeeld van een HAVO-eindterm is de volgende voor domein D: “De kandidaat kan uitleggen hoe natuurwetenschap en techniek gebruikt worden bij het verzorgen en genezen van mensen en de daarvoor relevante concepten toepassen in verschillende situaties.” Ook deze formulering is in grote mate generiek en komt dus terug bij de andere domeinen.

Tot zover een korte schets van de inhoud van NLT, waarbij we, het zij nogmaals gezegd, ons moeten realiseren dat dit vak nog volop in ontwikkeling is. Toch passen mijns inziens al wel een aantal kanttekeningen, bijvoorbeeld ten aanzien van de context-conceptbenadering. Als we even de lege retoriek van de Profielcommissies terzijde leggen en de CCB simpel opvatten als het onderwijzen van op zich zinvolle onderwerpen, dan blijkt daaraan in NLT probleemloos te kunnen worden vormgegeven. Overigens zonder dat de Stuurgroep NLT zich daarvan bewust lijkt te zijn. Dat komt uiteraard voor een groot deel doordat er nu geen sprake meer is van het onderwijzen van basistheorieën, die zijn immers in de monovakken aan de orde geweest, en daarop

Ontwikkelingen in natuurkundeonderwijs

kan nu worden voortgebouwd met behulp van voor de gekozen onderwerpen relevante contexten en domeintheorie. Er is dus geen behoefte meer aan generalisatie van het geleerde buiten het onderwezen onderwerp en daarmee vervalt het veel gebruikte hoofdbezwaar tegen contextrijk onderwijs.

HAVO

A. Vaardigheden

B. Taal van de wetenschap

Maak het verschil

Dynamisch modelleren HAVO

Logisch aan het werk

C. Bedreiging en behoud van de leefomgeving

Glaskuinbouw en energie

De bodem leeft

Nulenergiehuis

Duurzaam en niet duur

Aërosolen en vuile lucht

D. Zorgen en genezen

Medische beeldvorming

Human technology cares

Leef met je hart

E. Opsporen en beschermen

Waterzuivering

Een waarheid als een koe

Forensisch onderzoek

Wat zeg je?

F. Verbetering van de kwaliteit van het leven

Door de zoete appel heen bijten

Een feest zonder katers

Het beste ei

VWO

A. Vaardigheden

B. Fundament van wetenschap en technologie

Meten en interpreteren

Dynamisch modelleren VWO

Entropie

Proeven van vroeger

Complexe stromen

Kwantumstructuur van de materie

C. Aarde en klimaat

De bewegende aarde

Klimaatverandering, als het noordpoolgebied opwarmt

CO₂-opslag: zijn of onzijn?

Meteorologie: Urban heat island and oasis effect

De bewegende aarde

Koolstofkringlopen en klimaat

IJs en klimaat

D. Stellaire informatie en processen

Levensloop van sterren

Meten aan melkwegstelsels

Kosmische straling

Leven in het heelal

E. Biofysica, -chemie en -informatica

Moleculen in leven

Hart en vaten

Kijken en zien

Bio-informatica

Hersenen en leren

Rijden onder invloed

HIV/Aids

F. Biomedische technologie en biotechnologie

Food or fuel

Kunstnier en membranen

Biosensoren

Technisch ontwerpen in de Biomedische Technologie

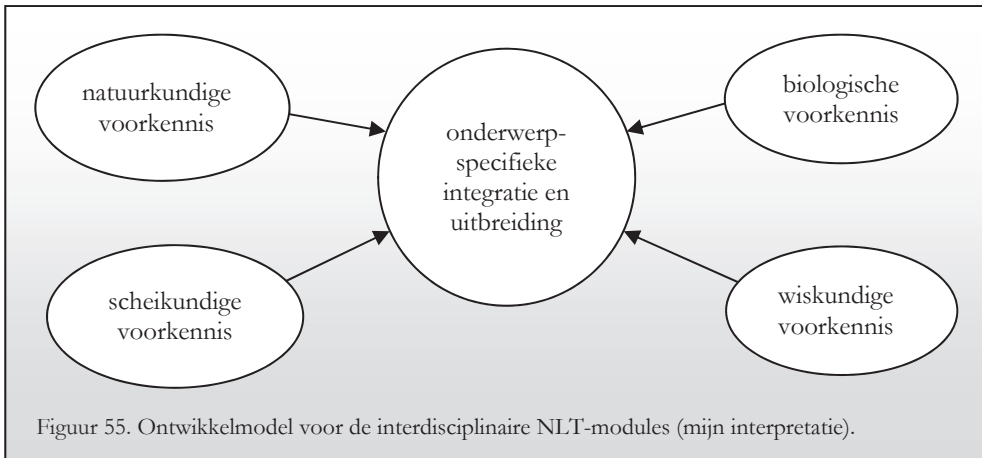
Figuur 54 >

<p>G. Grenzen verleggen <i>Overleven in het International Space Station</i></p>	<p><i>Medicijnen: van molecuul tot mens</i> <i>Medische beelden</i> <i>Een pil te veel of te weinig</i></p> <p>G. (Duurzaam) gebruik van grondstoffen, energie en ruimte <i>Ruimte voor de rivier</i> <i>Blue energy</i> <i>Kernfusie</i> <i>Brandstof voor het leven</i> <i>Duurzame energie</i></p>
<p>H. Communiceren en navigeren <i>Veiliger met kaart en GIS</i> <i>Plaatsbepaling en navigatie</i></p>	<p>H. Materialen, proces- en productietechnologie <i>Zuiver drinkwater</i> <i>Oude brandstof in nieuwe vaten</i> <i>Drinkwater, lekker belangrijk</i> <i>Echt of vals</i> <i>De waterstofauto binnenstebuiten</i> <i>Forensisch onderzoek</i> <i>Sounddesign</i> <i>Moleculaire gastronomie</i> <i>Nanoscience</i></p>
<p>I. Gemak dient de mens <i>Smaak maken</i> <i>Leven met robots</i> <i>Lijmen en bechting</i></p>	<p>I. Werktuigen, voertuigen en producten <i>Holografie</i> <i>Robotica</i> <i>De mp3-speler</i></p>
<p>Figuur 54. De domeinen en modules in NLT (aanbod website betavak-nlt, april 2010). Opgenomen zijn zowel de gecertificeerde, als de externe en nog in ontwikkeling zijnde modules (enkele titels zijn door mij in een domein geplaatst). Totaal: 24 HAVO-modules en 48 VWO-modules.</p>	

Vanwege het nagestreefde interdisciplinaire karakter van de NLT-modules, is, idealiter, sprake van een ontwikkelmodel, zoals schematisch weergegeven in figuur 55. Een probleem is uiteraard wel dat de beschikbare voorkennis profielbepaald is. Het betekent, denk ik, dat bij nadere beschouwing van de ontwikkelde modules zou blijken dat ook deze qua gebruikte voorkennis grotendeels profielbepaald zijn, zodat leerlingen keuzemogelijkheden hebben die passen bij hun profiel. Het idee dat leerlingen zich zelfstandig de missende kennis van een niet gekozen profielvak gaan eigen maken, lijkt me niet erg realistisch. Dit illustreert wel dat de nagestreefde verbreding en verdieping dus kennelijk ook zijn grenzen kent¹³⁷.

¹³⁷ De situatie in figuur 55 is fundamenteel anders dan wanneer het zou gaan om zoiets als natuuronderwijs in de onderbouw. Dan is er immers geen sprake van al eerder onderwezen toepasbare voorkennis uit de verschillende disciplines, maar moet deze diverse (basis)kennis juist in de gekozen integrerende context worden aangeleerd. Dit komt de leerbaarheid van deze basiskennis vaak niet ten goede.

Kijken we nu naar het totaal van de domeinen en modules in figuur 54, dan ontkomen we toch niet aan de vraag, zoals net al gesteld, wat nu eigenlijk bepalend is voor het vak NLT. Eerlijk gezegd lijkt het een nogal toevallig bij elkaar geraapt 'zootje'. Het is natuurlijk prachtig dat er wordt gestreefd naar meer samenhang tussen de natuurwetenschappelijke vakken, maar wat bepaalt dan de samenhang in dat samenhang brengende vak? Zo op het oog is die volledig afwezig. De Stuurgroep heeft zich dat kennelijk ook gerealiseerd en daarom gestuurd in de richting van te ontwikkelen module-overstijgende leerlijnen. Voor zover mij bekend worden die echter vooral gezocht in overkoepelende thema's als 'leren onderzoeken' en 'leren ontwerpen' en niet op inhoudelijk niveau. Ik meen daarom te mogen stellen dat het de Stuurgroep kennelijk aanvankelijk heeft ontbroken aan een inhoudelijk uitgewerkte visie op het vak.



5.1.3 Eerste evaluatie en reflectie

Leerlingen zullen ongetwijfeld een aantal interessante modules kunnen kiezen, maar krijgen ze nu ook een beeld van het totaal van NLT? Of is dat helemaal niet de bedoeling? Ik ben nog van het ouderwetse stempel dat meent dat keuzevrijheid voor leerlingen en docenten natuurlijk prachtig is, maar niet zover mag doorschieten dat daardoor de 'boodschap' van een vak onzichtbaar wordt. En naar mijn overtuiging is dat precies wat er nu aan de hand is. Het 'vak NLT' heeft geen duidelijk gezicht en verkondigt ook geen duidelijke boodschap. Liggt daarin misschien een gedeeltelijke verklaring voor het feit dat de eerste evaluaties van NLT weliswaar niet negatief zijn, maar, mijns inziens, toch ook niet het positieve beeld geven waarop lijkt te zijn gehoopt? Is NLT daardoor niet in de eerste plaats een 'vak' dat heel interessant is voor docenten en ontwikkelaars van allerlei professionele instituten, die eindelijk hun ei kwijt kunnen in het voortgezet onderwijs, maar veel minder voor de leerlingen daarvan? Zo rapporteert Van Langen¹³⁸ de volgende uitkomsten van een eerste verkenning naar de ervaringen met NLT:

¹³⁸ A. van Langen (2010). *Eerste ervaringen met het vak NLT*. Nijmegen: ITS.

- Het aanbieden van NLT gaat niet samen met een grotere belangstelling voor de natuurprofielen.
- HAVO-leerlingen – in het bijzonder meisjes – op scholen met een NLT-aanbod volgen significant vaker het N&G-profiel, op scholen zonder NLT-aanbod vaker een dubbelprofiel.
- Op scholen die NLT aanbieden, kiest gemiddeld ongeveer dertig procent van alle natuurprofielkiezers dit vak, zowel op HAVO als VWO.
- Onder vierdeklassers die reeds NLT-lessen hebben gevolgd, is de tevredenheid over de keuze voor dit vak niet bijster hoog. Liefst 48% zou het vak niet opnieuw kiezen als dat mogelijk zou zijn.
- Vierdeklassers met NLT rapporteren niet of nauwelijks meer samenhang tussen de overige exacte vakken dan vierdeklassers zonder NLT.
- De studieplannen van vierdeklassers in een natuurprofiel met NLT zijn niet spectaculair anders dan die van diegenen zonder NLT.
- NLT-docenten zijn over het algemeen tevreden met en enthousiast over de mogelijkheden die NLT hen biedt, ook al kost het hen veel tijd.

Kortom, er zou zich wel eens eenzelfde inhoudelijke problematiek kunnen voordoen als eerder besproken bij het ‘kleine broertje’ ANW, en wellicht dat er dus ook een oplossing mogelijk zou zijn die in dezelfde richting gaat. Temeer daar het vak ANW zelf, zoals we gezien hebben, inmiddels zo goed als is afgeschaft. Voor destructieve overlap hoeven we dus niet meer bang te zijn.

Dit zou niet nodig zijn geweest als de Stuurgroep niet uitsluitend had gedacht in termen van modules, maar het ‘drietrapsraketidee’ van de Profielcommissies had overgenomen en eerst het *vak* NLT had gekarakteriseerd met behulp van een brede oriëntatie. Daarom stel ik u, aansluitend bij de benaming van de Profielcommissies, alsnog een vak ‘Voortgezette Algemene Natuurwetenschappen’ voor, bestaande uit de volgende zes hoofdstukken.

1 Voortgezette Natuurwetenschappen: waar gaat dat over en waarom dit vak – Het doel van dit thema zou moeten zijn om in grote lijnen samen te vatten wat er in de profielvakken aan de orde is geweest; hierin structuur aan te brengen volgens de aard, inhoud en methode van deze monovakken en te laten zien dat naarmate verdere kennisgroei optreedt, zich enerzijds onvermijdelijk steeds meer kennisvragen gaan voordoen van interdisciplinair karakter en anderzijds problemen van complexe technologische aard. Vervolgens wordt daarvan een exemplarisch beargumenteerd overzicht gegeven, met voorbeelden van te bestuderen onderwerpen, gerangschikt volgens onderstaande hoofdthema’s.

2 Evolutie, aard en behoud van (menselijk) leven – In dit thema staan we stil bij de natuurwetenschappelijke kant van levende wezens. Wat kunnen we allemaal al natuurwetenschappelijk beschrijven en waar is men nu juist naar op zoek? Hoe speelt de technologische vooruitgang daarin een beslissende rol? Hoe zijn de relaties tussen functies en vorm van levende wezens en van de belangrijkste structuren die er deel van uitmaken; levende organismen als zichzelf organiserende en regulerende feno-



Figuur 1.5 - Kamagurka, Volkskrant 1 juni 2006

Dynamische modellen

Een dynamisch model beschrijft hoe een bepaalde situatie verandert in de loop van de tijd. Het model wordt vaak gebruikt om te voorspellen hoe de variabelen die de situatie beschrijven in de loop van de tijd veranderen. Op allerlei terreinen wordt gebruik gemaakt van dynamische modellen en computersimulaties. Een nadeel van computermodellen is, net als bij alle andere modellen, dat het nooit een exacte weergave van de situatie is. De plaatjes uit de computer lijken heel nauwkeurig, maar schijn bedriegt

De jaarlijkse griepgolf: een dynamisch model in praktijk

Afgelopen winter werd in een gerespecteerd tijdschrift het volgende advies gegeven:

'Alle docenten met een mondkapje voor de klas bij dreiging van een griepepidemie!'

Helpt zo'n maatregel effectief tegen verspreiding? Hoe verloopt een epidemie eigenlijk? Welke factoren spelen een rol? Dynamische modellen worden gebruikt om dit soort vragen te beantwoorden. De overheid gebruikt ze om te voorspellen hoe de jaarlijkse griepgolf verloopt. Jaarlijks overlijden er in Nederland namelijk 500 - 1000 mensen aan het griepvirus. De overheid wil in een vroeg stadium weten hoe ernstig de situatie kan worden, zodat er nog maatregelen genomen worden.

Opdracht: bouw een griepmodel

In dit hoofdstuk ontwikkel je een computermodel dat een realistische voorspelling doet voor het verloop van een griepgolf. Na een oriëntatie op het verschijnsel 'griep' wordt een zeer eenvoudig model gebouwd. Het model wordt steeds getest en verbeterd totdat een realistisch model ontstaat.

- 3 Welke vragen wil je beantwoord hebben voordat je een model van griep kunt bouwen? Noteer een aantal vragen.

Oriëntatie op de ziekte griep en het griepvirus

Je model is een vereenvoudigde beschrijving van de werkelijkheid, die je kunt gebruiken voor het maken van een voorspelling. Het bouwen van een computermodel begint dan ook meestal met een oriëntatie op het verschijnsel, in dit geval 'griep'. Markeer in de teksten op de volgende pagina de informatie die je nodig hebt voor je model.

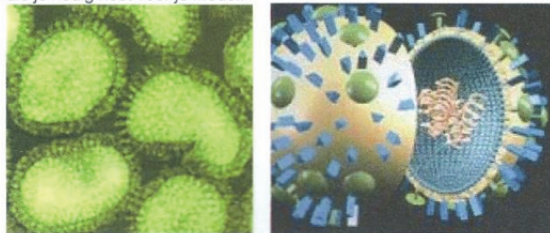


Fig 1.6 Elektronenmicroscopische foto griep. Daarnaast een model van het griepvirus

menen (die soms echter toch ontregeld raken en waarvoor dan weer oplossingen gezocht moeten worden). Hoe plant dat levende zich voort en hoe is het ontstaan? Wat zijn belangrijke bedreigingen en hoe kunnen we die aanpakken? Wat weten we van de rol van erfelijkheid en de rol van de hersenen als ‘centrale processor’. Kunnen we dat manipuleren en nabouwen? Mogen we dat? Is een mens meer dan wetenschappelijk beschrijfbaar materie? Hoe en waarom is het leven juist op deze aarde ontstaan?

3 Evolutie, aard en behoud van de planeet waarop we leven – Dat brengt ons naar het leven op deze planeet. Is die speciaal? Hoe is die ontstaan en waaruit bestaat hij? Hoe ziet die er natuurwetenschappelijk gezien uit? Wat heeft dat te maken met de levensvormen die we hier op aarde kennen, en waarom juist deze? Wat zijn de condities voor leven en waarom zijn die juist hier vervuld (het antropisch principe)? Hoe worden die condities in stand gehouden, en hoe gevoelig zijn ze voor veranderingen (en bedreigingen)? Kan de mens hieraan iets toe- of afdoen? Kunnen we daar ook voorspellingen over doen? Is er ook elders leven mogelijk?

4 Evolutie, aard en structuur van het heelal waarin we leven – Daarvoor moeten we kijken naar de kosmos? Naar andere planeten en de sterrenwereld daar achter. Om bij de vraag uit te komen wat we eigenlijk van onze kosmos denken te weten. En wat we nog zouden willen weten. Dan ontkomen we niet aan het verhaal van de BIG BANG en hoe zich van daaruit, naar men zegt, de materie en het heelal heeft ontwikkeld, zoals we dat nu kennen. Komt daar ook ooit een eind aan? Hoe zeker weten we dit? En is dit soort kennis alleen van cultureel belang of kunnen we die ook nuttig maken voor ons leven hier?

5 Evolutie, aard en inhoud van ons technisch kunnen – Techniek is handelen met materie tot nut van ons mensen. Dus met de evolutie van onze kennis van materie is er ook een evolutie van ons technisch kunnen mogelijk geworden. Aan de condities voor leven kunnen we niets veranderen, maar door ons technisch kunnen misschien wel aan de kwaliteit van leven. Wat voor kennis heeft zoal geleid tot wat voor technologische (en economische) ontwikkelingen? En waar wordt nu aan gewerkt? Is dat wel altijd wenselijk? Wordt dat ook gestuurd?

6 Evolutie, aard, mogelijkheden en beperkingen van ons weten en kunnen – Natuurwetenschap en technologie hebben als maatschappelijk verschijnsel een geweldige ontwikkeling doorgemaakt. Wie stuurt dat eigenlijk en wie is daarvoor verantwoordelijk? In de voorgaande thema’s is een veelheid van wetenschappelijke inzichten en vragen de revue gepasseerd. Natuurwetenschap heeft kennelijk een geweldige hoeveelheid know-how opgeleverd die lijkt te ‘werken’. Dat houdt het gevaar in zich dat soms de meest fantastische gedachten als zekerheden naar voren worden gebracht, maar hoe zeker is dit soort (cultureel bepaalde?) kennis eigenlijk? Wat ‘garandeert’ dat het ‘werkt’? Zijn er ook andere ‘ways of knowing’? En wat onderscheidt ‘natuurwetenschappelijke en technologische kennis’ dan van andere kennis? En waar liggen haar beperkingen? Leidt deze kennis ook tot vooruitgang, en zo ja, in welke zin? Economisch, ethisch, maatschappelijk?

Het zal u niet verbazen dat, in mijn optiek, deze globale beschrijvingen grotendeels overeenkomen met die bij ANW, maar de uitwerking zou daarvan uiteraard sterk moeten verschillen, vanwege de heel andere voorkennissituatie en de toegespitste populatie

leerlingen. Bovendien zou ieder thema een functioneel overzicht moeten bevatten van de mogelijke specialisatiemodules waarin leerlingen zich na ieder thema verder zouden kunnen verdiepen. Deze specialisatiemodules zouden trouwens voor een groot deel kunnen samenvallen met de huidige NLT-modules, maar die zouden dan wel zijn ingebed in een omvattend en zingevend kader. In feite zou zo een uitwerking gegeven kunnen worden aan wat de Profielcommissie de eerste trap van een brede oriëntatie Natuur en Techniek heeft genoemd, met de door hun genoemde tweede trap van keuzemodules daarin geïntegreerd.

Tot zover enkele gedachten bij NLT. De toekomst zal leren of dit vak zich een blijvende plaats kan veroveren in ons onderwijs en hoe het verder zal evolueren. Overigens kunnen mijn kanttekeningen bij dit vak ook betekenen dat ik het zicht op de huidige onderwijspraktijk ben kwijt geraakt. Mijn visie op dit vak houdt immers in dat er bij leerlingen die kiezen voor dit vak een redelijke kennisinteresse aanwezig is, dan wel is op te roepen. Echter, uit recent onderzoek zou zijn gebleken dat dit niet meer het geval is. De ‘moderne’ leerling zou niet meer geïnteresseerd zijn in kennis als zodanig, maar in de eerste plaats actief bezig willen zijn met actuele en herkenbaar relevante zaken. En dat alles ook nog zoveel mogelijk naar eigen keuze. Mocht dit inderdaad zo zijn, dan sluit de gekozen uitwerking van NLT hier wonderwel bij aan. Des te beter!

5.1.4 Eindadvies en tweede evaluatie

Ook voor NLT verscheen, nadat voorgaande beschouwingen geschreven waren, eind 2010 het eindadvies van de Stuurgroep NLT¹³⁹, alsmede begin 2011 een curriculumevaluatie van de SLO¹⁴⁰. In het eindadvies wordt verslag gedaan van het vele werk in de eigenlijk veel te korte ontwikkelperiode. Met name de oprichting van regionale steunpunten en van een landelijk steunpunt lijkt, vanuit implementatieoverwegingen, een goede actie te zijn geweest. Verrassend is ook het grote aantal scholen dat al in de ontwikkelperiode wilde deelnemen, wat duidt op een behoorlijk enthousiasme bij de docenten. Zeker gezien het feit dat de NLT-modules bij voorkeur door docentteams gegeven moeten worden, wat toch veel extra overleg en afstemming met zich meebrengt. De deelnemende docenten ervaren dit echter grotendeels als een verrijking van hun werk. Zoals al uit figuur 54 bleek, moet er door zeer veel mensen zeer veel werk zijn verzet en dat is zeer bewonderenswaardig. Ook inhoudelijk is er sprake geweest van voortschrijdend inzicht, zoals moge blijken uit figuur 57, waarin de uiteindelijk geadviseerde domeinen worden weergegeven. Kennelijk is ook bij de Stuurgroep de gedachte opgekomen dat het ontwikkelde ‘zootje’ aan modules vroeg om een sterkere domeinstructuur. En met veel goede wil kunnen we in deze nieuwe domeinstructuur zelfs een zekere overeenkomst ontdekken met mijn eigen hiervoor geschetste structuur. In het advies van de Stuurgroep moeten we er echter van uitgaan dat deze domeinen wel een voor experts herkenbare structuur geven, maar niet noodzakelijkerwijs ook vanuit het standpunt van de leerling. En als er geen pogingen worden gedaan om

¹³⁹ J. Kruger & H.M.C. Eijkelhof (2010). *Advies Beproefd Examenprogramma NLT*. Stuurgroep NLT.

¹⁴⁰ E. Folmer, W. Ottevanger, L. Bruning & W. Kuiper (2011). *Curriculumevaluatie bètaonderwijs tweede fase: Ontwikkeling en invoering NLT 2007-2010*. Enschede: SLO.

deze structuur ook voor leerlingen te laten functioneren, en daar lees ik niets over, dan zal het voor hen nog steeds een ‘supermarktvak’ zijn. Een vak waarin je interessante, maar grotendeels los van elkaar staande, onderwerpen kunt kiezen ter verdere bestudering. Maar er zal geen totaalbeeld ontstaan!

HAVO	VWO
A. Vaardigheden	A. Vaardigheden
B. Exacte wetenschappen en technologie B1. Interdisciplinariteit B2. Wisselwerking tussen natuurwetenschap en technologie	B. Exacte wetenschappen en technologie B1. Interdisciplinariteit B2. Wisselwerking tussen natuurwetenschap en technologie
C. Aarde en natuur	C. Aarde, natuur en heelal C1. Processen in levende natuur, aarde en ruimte C2. Duurzaamheid
D. Gezondheid, bescherming en veiligheid	D. Gezondheid en veiligheid D1. De gezonde en zieke mens D2. Bescherming en veiligheid
E. Materialen, processen en producten E1. Methoden en technieken van technologische ontwikkeling E2. Processen en producten	E. Technologische ontwikkeling E1. Methoden en technieken van technologische ontwikkeling E2. Processen en producten
	F. Fundamenten van natuurwetenschap en technologie F1. Fundamentele theorieën F2. Methoden en technieken van onderzoek

Figuur 57. De domeinen uit het eindadvies van de Stuurgroep NLT (2010).

In het evaluatierapport¹⁴⁰ staat: “Bij NLT lag het accent eerst en vooral op het beschikbaar krijgen van modules. De Stuurgroep NLT heeft daarbij een strak stramien gebanteerd van ontwikkeling (in kleine ontwikkelnetwerken van docenten, vakdidactici en vakspecialisten), evaluatie, certificering en invoering, onder de brede paraplu van globaal geformuleerde examenprogramma’s. De domeinen in de examenprogramma’s zijn zo gekozen dat er veel ruimte is voor verschillende onderwerpen, waarmee tegemoet kan worden gekomen aan eigen voorkeuren van docenten en leerlingen. De ontwikkeling, beproeving en oplevering van modules is verlopen in vier ‘golven’. De modules zijn ontwikkeld door docenten met medebetrokkenheid van vakexperts en vakdidactici.” Nieuw in deze ontwikkelprocedure is het idee van certificering, om te garanderen dat de didactische kwaliteit van de modules toch voldoet aan een minimaal niveau¹⁴¹. Desalniettemin volstaat

¹⁴¹ H.M.C. Eijkelfhof & J. Kruger (2009) *Improving the Quality of Innovative Science Teaching Materials*. http://igi.tur-archive.library.uu.nl/phys/2010-0408-200201/ESERA_2009.pdf

een ruwe blik op de beschikbare modules om te constateren dat het didactisch niveau nog zeer wisselend van kwaliteit is, iets wat ook door de pilotdocenten wordt gemoreerd. Met name de vakexperts hebben kennelijk niet altijd de neiging kunnen onderdrukken om zoveel mogelijk van 'hun' vak in een module te stoppen. Zo wreekt zich dat er, qua vormgeving en werkwijze, geen duidelijk didactisch voorschrift is gehanteerd. Ook is het zonder meer jammer dat niet geprobeerd is het idee van op beroepsperspectieven gerichte handelingspraktijken uit te werken in de modules. Dat zou NLT dan, qua didactische vormgeving, een veel duidelijker eigen gezicht hebben kunnen geven.

Natuurlijk komen uit de evaluatie ook allerlei kinderziekten naar voren, maar over het algemeen lijkt NLT goed te worden ontvangen, zowel door de docenten als door de leerlingen. Zelfs al vinden docenten wel dat er door NLT sprake is van een taakverzwaring. Gegeven de voorgaande discussies, is het interessant om te zien hoe in dit verband gedacht wordt over de context-conceptbenadering. *“Zo'n twee derde van de docenten vindt het inderdaad zo dat de context-conceptbenadering veel tijd kost in de klas, waardoor modules meer tijd kosten dan er voor staat aangegeven. Daarentegen vindt 91% van de docenten dat er voldoende tijd is voor het werken met contexten. Ook vinden de meeste docenten niet dat er door de aandacht voor contexten onvoldoende tijd is voor het aanleren van concepten. Wel zijn de meeste docenten van mening dat er geen tijd is om concepten ook nog in andere contexten dan de aanleercontext te behandelen.”*

De docenten zijn in meerderheid van mening dat het gebruik van contexten NLT aantrekkelijker maakt voor leerlingen en het mogelijk maakt aandacht te besteden aan allerlei nieuwe ontwikkelingen. Kortom, ze staan over het algemeen positief tegenover de rol van contexten in NLT, zoals het volgende moge illustreren:

“Docenten zijn het in meerderheid oneens met de volgende stellingen:

- *De aandacht die nodig is voor de verwerking van kennis en inzicht in ... wordt afgeleid door steeds wisselende contexten.*
- *De contexten in de modules voor ... zijn te gekunsteld.*
- *Bij ... gaat het verwerven van kennis en inzicht beter zonder contexten.*

Hiernaast is men van mening dat contexten bij NLT geen doel maar middel zijn om leerlingen concepten bij te brengen.

Een docent zegt tijdens een schoolbezoek: “NLT kan niet zonder contexten. Ik sta daarom helemaal achter de gekozen concept-contextbenadering daar waar het NLT betreft.” Voor wat betreft de andere betavakken onderschrijft hij die benadering juist niet. “Daar zou de focus moeten liggen op het aanleren van basiskennis, die dan binnen NLT in een context kan worden geplaatst. Binnen de monovakken is het natuurlijk wel prima om, daar waar gewenst, contexten dan wel toepassingen aan te reiken. Dit echter alleen daar waar behoefte is. Het is niet raadzaam dat iemand die het moeilijk vindt ook nog door die lange teksten moet.”

Een andere docent maakt een vergelijkbare opmerking: “Bij NLT is dat mooi (concept-context), de ogen open voor de veelzijdigheid. Bij de andere vakken ben ik enigszins huiverig voor de vervlakkening. NLT is echt het uitgelezen vak voor contexten.” Weer een andere docent zegt: “concept-context is niet nieuw of bijzonder. Het idee op zich is mooi maar wordt heel verschillend ingevuld bij de verschillende vakken.”

In de lespraktijk spelen contexten dan ook een duidelijke rol in de NLT-lessen. Hoe kan het anders, zou je zeggen, als je naar de modules kijkt. Maar toch, het idee dat het ook hier eigenlijk om de concepten gaat, is niet ver weg. Een grote meerderheid van de docenten zegt in de lessen concepten in contexten te plaatsen, ook zijn contexten het vertrekpunt voor het leren van concepten en worden concepten toegelicht aan de hand van mogelijke toepassingen. De practica zijn doorgaans ook aan contexten gebonden, hebben voornamelijk betrekking op het aanleren van vaardigheden en zijn bij veel docenten gericht op het zelfstandig doen van onderzoek.

Tijdens een schoolbezoek merkt een docent op dat *“een leidende opdracht de manier is om aan concept-context inhoud te kunnen geven. Zo hebben we voor de module Geluid zelf een orgelpijp gebouwd. Dat sloot heel mooi aan bij het feit dat er in de aula een orgel werd geplaatst. Heel erg leuk om te doen, ook voor de leerlingen. Ook de module Alcohol had een mooie leidende opdracht namelijk je eigen alcohol maken.”* Een andere docent zegt iets vergelijkbaars: *“Het mooie van open opdrachten (practica) is dat leerlingen echt van begin tot eind zelf aan de slag moeten. Ze zijn bij andere vakken een meer kookeboekachtige benadering gewend, maar bij NLT moeten ze ook echt zelf de materialen en dergelijke verzamelen.”*

Op zich is het mooi dat deze evaluatie redelijk positief uitvalt, dat weerspiegelt een goed uitgangspunt voor verdere uitbouw en implementatie. Toch zijn er ook zaken die, naar mijn idee, reden tot zorg geven, met name ten aanzien van de concept-contextbenadering. Zo hinken, wat dat betreft, zowel vele ontwikkelaars, als vele docenten, kennelijk nog op twee gedachten. Gaat het nu om de context, of om de concepten? Voor NLT zou het, mijns inziens, eenduidig om de context moeten gaan, om het onderwerp dat behandeld wordt. Dat moet zo goed mogelijk uit de verf komen, met behulp van daarvoor benodigde concepten. Die zijn ‘middel tot’. En omdat er nu geen kunstmatige grenzen worden opgeworpen vanwege beperking tot een monodisciplinaire behandeling, kan dat nu ook in volle omvang gebeuren. In die zin heeft de docent gelijk die zegt dat NLT het uitgelezen vak is voor contexten, al weerspiegelt die uitspraak tegelijk nog een onderliggend onterecht primair focus op concepten. Speelt bij de monodisciplines (zie NINA) steeds het dilemma tussen focus op concepten, of focus op de context, een begrijpelijke en moeizame rol, juist vanwege de te behandelen disciplinaire basiskennis, bij NLT zou dat geen rol meer moeten spelen. In de uitwerking van vele modules zien we echter, net zoals in de uitspraken van sommige docenten, nog een ‘traditionele’ nadruk op concepten. Juist bij NLT zou het echter niet moeten gaan om een met een context geïllustreerde behandeling van concepten, maar om een met concepten geïllustreerde behandeling van een context. En dat is toch echt iets anders!

Een ander punt is dat uit de evaluatie blijkt dat zowel docenten als leerlingen waarderen dat het gaat om een ‘praktisch vak’. Genoemd worden het aanleren van vaardigheden en, in het bijzonder, het doen van zelfstandig onderzoek. Dit verbaast me toch wel. Ik snap dat ‘moderne’ leerlingen dit waarderen, die willen immers vooral actief bezig zijn (?), maar ik vraag me toch af of hier geen sprake is van doorschieten. In de ‘vernieuwde’ monovakken is immers dezelfde accentverschuiving doorgevoerd. Ook daarin staan vaardigheden voorop, en je kunt je dus afvragen wat het vak NLT, wat dat betreft, daaraan nog toe te voegen heeft als een leerling al in twee of drie monovakken

heeft leren onderzoeken en ontwerpen. Of, scherper geformuleerd, ik snap dat het maken van je eigen alcohol, of van een orgelpijp, zowel voor leerlingen als docenten, plezierige en, tot op zekere hoogte, zelfs leerzame activiteiten kunnen zijn, maar ik vraag me wel af of dat op NLT-niveau de meest efficiënte besteding van de beschikbare onderwijstijd is. Natuurlijk, iedere onderzoeks- of ontwerpactiviteit die geen volledige replica is van een eerdere, kan in principe tot een nieuwe leeropbrengst leiden, maar is dat ook de meest urgente? In ieder geval zou het nodig zijn om veel preciezer te omschrijven op welke manier NLT dan op het al aanwezig veronderstelde vaardigheidsniveau zou kunnen aansluiten, en wat het daaraan nog zou kunnen toevoegen. Anders zal het, naar ik vrees, in de praktijk waarschijnlijk te vaak neerkomen op meer van hetzelfde!

5.2 Samenhang en interdisciplinariteit

Dit roept de vraag op naar de samenhang en afstemming tussen ANW, NINA en NLT. Een vraag die de vernieuwingscommissies zich overigens ook gesteld hebben, zoals blijkt uit een in 2011 verschenen rapport. Nu is de vraag naar meer samenhang tussen het onderwijs in de natuurprofielvakken al een aantal jaren aan de orde. Eigenlijk moest de Vakontwikkelgroep BINASK, bij de vaststelling van de programma's voor de Tweede Fase deze samenhang al vormgeven, maar in de praktijk is daarvan toen niet veel (of niets?) terecht gekomen¹⁴². Vanaf de overgang naar het nieuwe decennium is, onder invloed van stimulansen van overheid en bedrijfsleven, hier meer serieuze aandacht voor gekomen. Zo is van 2000-2005 gewerkt aan het SONaTe-project (Samenhangend Onderwijs in Natuur en Techniek)¹⁴³, later opgevolgd door het SaLVO-project (Samenhangend Leren in het Voortgezet Onderwijs)¹⁴⁴. Dit laatste project heeft vooral aandacht besteed aan de afstemming van wiskunde en natuurkunde, door het ontwikkelen van een doorlopende leerlijn voor het werken met (onder andere) evenredigheden en verhoudingen. Uit het SONaTe-onderzoek bleek dat er weinig scholen waren die over de gehele linie samenwerkten. Activiteiten waren met name gericht op organisatorische aspecten en op het practicum, waarvoor vaak gezamenlijke ruimtes zijn ingericht. Vakinhoudelijke samenwerking kwam meestal nog niet aan bod, alhoewel die mogelijkheden er natuurlijk wel zijn, zowel op het gebied van de inhoud als op het gebied van de vaardigheden. Het potentieel aan samenhang dat er ligt, werd dus nog

¹⁴² K. Boersma, A. Bulte, J. Krüger, M. Pieters & F. Seller (2011). *Samenhang in het natuurwetenschappelijk onderwijs voor HAVO en VWO*. Utrecht: Stichting IOBT.

¹⁴³ G.E. Zegers, K.Th. Boersma, M. Wijers, A. Pilot. & H.M.C. Eijkelhof (2002). *SONaTe in het studieboek. Onderzoek naar good practice op het gebied van samenhangend onderwijs in natuur en techniek in de tweede fase*. Delft: Stichting Axis.

G.E. Zegers, K.Th. Boersma, R.J. Genseberger, A.G. Jambroes-Willebrand, H. van der Kooij, A.H. Mooldijk & H.M.C. Eijkelhof (2003). *Een basis voor SONaTe. Voorbeelden van inhoudelijke samenhang tussen de natuurwetenschappelijke vakken en wiskunde in de tweede fase havo/vwo*. Delft: Stichting Axis.

¹⁴⁴ A.H. Mooldijk & W. Sonneveld (2010). Coherent education in mathematics and physics: The theme of proportionality in mathematics and physics. In: N. Valadines (Ed.), *Trends in Science and Mathematics Education* (pp. 43-50). Cyprus: Cassoulides.

Zie ook <http://www.fisme.science.uu.nl/salvo/index.php?ct=1>

niet of nauwelijks benut. De wens tot meer afstemming kwam overigens niet alleen vanuit het ministerie, ook de scholen zelf zagen hier mogelijkheden. Eén van de redenen daarvoor is om de overladenheid voor leerlingen terug te dringen. Afstemming tussen vakken zou, zo is de veronderstelling, namelijk leiden tot meer efficiency in het leren van begrippen en vaardigheden¹⁴⁵. En inderdaad rapporteert het SaLVO-project in dit opzicht bemoedigende resultaten. Daarnaast¹⁴⁴ worden nog de volgende redenen genoemd om tot meer afstemming te komen:

- Het onderwijsprogramma wordt minder versnipperd, zodat leerlingen niet louter op zichzelf aangewezen zijn om samenhang te ervaren. Leerlingen krijgen een kennisstructuur met meer dwarsverbindingen.
- Leerlingen kunnen situaties uit de omgeving adequater bestuderen en hun kennis en vaardigheden adequater inzetten bij het bestuderen van interdisciplinaire thema's. Dat is geen overbodige luxe omdat in veel studierichtingen en beroepen gewerkt wordt in multidisciplinaire teams.
- Leerlingen worden mogelijk enthousiaster voor exacte vakken.
- Docenten worden gestimuleerd tot samenwerking, en leren van elkaar, waardoor ze hun professioneel handelingsrepertoire verbreden.

Deze argumenten komen grotendeels overeen met die van Eijkelhof¹⁴⁶, die (in 2006!) niet alleen wees op de rol die de vernieuwingscommissies, in dit opzicht, nog moesten gaan spelen, maar ook duidelijk maakte waar deze vraag naar samenhang nu ineens vandaan kwam. *“Voor de invoering van de Tweede Fase in 1998 hadden leerlingen veel vrijheid in het kiezen van een vakkenpakket. De profielstructuur heeft daar verandering in gebracht: alle leerlingen met een N-profiel volgen de vakken wiskunde, natuurkunde en scheikunde (en in het NG-profiel ook nog biologie). Daarmee wordt samenhang gefaciliteerd. Zorgelijk is wel dat het NT-profiel zich tot een typisch jongens-profiel heeft ontwikkeld: dat bevordert niet de participatie van meisjes in de op NT-geënte natuurwetenschappelijke en technologische studierichtingen. Die scheiding der geslachten zou nog sterker kunnen worden met de herziene profielen (vanaf 2007), waarin natuurkunde niet langer behoort tot het standaardpakket voor NG-leerlingen, maar inmiddels is het tijd gekeerd doordat in het wetenschappelijk onderwijs natuurkunde verplicht is gesteld voor toelating tot vrijwel alle biomedische studies.*

De mogelijkheden voor samenhangend onderwijs in de profielen zijn echter nog lang niet volledig benut. Immers, de tradities in het bètaonderwijs zijn sterk en hebben geleid tot een divers gebruik van contexten, wiskunde, notaties, begrippen en practica. Om organisatorische, culturele of menselijke redenen is de samenwerking tussen vaksecties op veel scholen beperkt. Docenten hebben vaak een monodisciplinaire vooropleiding en hebben weinig gelegenheid gehad zich op de hoogte te stellen van ontwikkelingen in aanpalende vakgebieden. (...)

Samenhang is naar mijn mening geen doel op zich, maar kan een bijdrage leveren aan:

- verdere kwaliteitsverbetering van het onderwijs
- de aantrekkelijkheid van een natuurprofiel voor leerlingen

¹⁴⁵ J.M. Thurlings & G.M. Timersma (2003). Samenhang tussen de natuurwetenschappen. Verslag WND-conferentie.

¹⁴⁶ H.M.C. Eijkelhof (2006). Met het oog op samenhang: afstemming tussen vijf vernieuwingscommissies. Verslag WND-conferentie.

Ontwikkelingen in natuurkundeonderwijs

- *differentiatiemogelijkheden naar interesse en capaciteiten van leerlingen*
- *een betere voorbereiding op een bètastudie*
- *een groter draagvlak voor bèta in Nederland*
- *de aantrekkelijkheid van het beroep van docent.”*

Sindsdien is er veel gedaan om de samenwerking tussen docenten, als noodzakelijke voorwaarde voor meer samenhang, op gang te brengen, onder andere door de vorming van ‘discourse communities’ van docenten te stimuleren¹⁴⁷. Maar een vak als NLT geeft aan dit streven natuurlijk een nieuwe dimensie.

Wat hebben de vernieuwingscommissies¹⁴², qua bevordering van samenhang, hier nu uiteindelijk aan toe te voegen? In hun notitie “*wordt ervan uitgegaan dat samenhang tussen de natuurwetenschappelijke schoolvakken gebaseerd dient te zijn op de wijze waarop de disciplines biologie, natuurkunde en scheikunde met elkaar samenhangen.*” Ze beschrijven daartoe eerst de samenhang tussen de schoolvakken, om daarna een daarvoor funderende karakteristiek te geven, in de vorm van een vakoverstijgend kader voor de samenhang tussen de disciplines. Een duidelijke top-down benadering vanuit de wetenschap dus, waarvoor verder geen argumenten worden gegeven. Dat doen ze wel, als volgt, voor de wenselijkheid van samenhang.

- *“De meeste leerlingen waarderen onderwijs waarin docenten zichtbaar samenwerken; veel leerlingen vertonen een voorkeur voor vakoverstijgende onderwerpen.*
- *Het is wenselijk dat leerlingen kennis van het ene vak in het andere vak kunnen gebruiken, omdat die kennis noodzakelijke voorkennis vormt voor de ontwikkeling van het andere vak. (...)*
- *Het is wenselijk dat leerlingen leren inzien dat voor de oplossing van maatschappelijke vraagstukken multidisciplinaire kennis en een multidisciplinaire aanpak noodzakelijk zijn. (...)* Daarbij gaat het niet om opheffing van de ‘klassieke’ natuurwetenschappen, maar om erkennen van hun complementariteit en samenhang.”

Ze voegen hieraan toe dat ze niet verwachten dat door samenhangend natuurwetenschappelijk onderwijs tijd kan worden bespaard, maar wel dat leerlingen een hoger kennisniveau bereiken en meer inzicht krijgen in de realiteit van natuurwetenschappelijke activiteiten. Er is dus geen volledige overeenstemming tussen wat de voorstanders van meer samenhang verwachten. Waarschijnlijk komt dit mede door, voor zover mij bekend, het nog grotendeels ontbreken van empirische evidentie.

Alvorens verder op de geschetste mogelijkheden in te gaan, wil ik eerst constateren dat er in de voorgaande betogen geen duidelijk onderscheid wordt gemaakt tussen samenhang en interdisciplinariteit. Voor de goede orde wil ik dat vanaf nu wel doen, door onder samenhang te verstaan een goede functionele afstemming op elkaar van het onderwijs in de monovakken. Onder interdisciplinariteit versta ik dan functionele integratie van monodisciplinaire elementen in één onderwijsaanbod.

De vernieuwingscommissies onderscheiden de volgende vormen van samenhang:

- *Samenhang in de volgorde, waarbij aangesloten wordt op de kennis die in een van de andere vakken is aangeboden, bijvoorbeeld over energieomzetting.*

¹⁴⁷ T. van der Valk, I. Frederik & H. Broekman (2005). Een discourse community van docenten rond onderzoekende houding in de bètavakken. *TD-β*, 22, 22-50.

- *Conceptuele samenhang, waarbij concepten uit verschillende vakken aan de orde komen, zoals het concept molecuul.*
- *Contextuele samenhang, waarbij een context of probleem in een context vanuit meerdere vakken wordt verbeeld of aangepakt, bijvoorbeeld bodemzuivering.*
- *Gemeenschappelijke denk- en werkwijzen, zoals modelleren, onderzoeksvaardigheden of ontwerpvaardigheden.*

Deze mogelijkheden tot meer samenhang, uit te werken in eindtermen, syllabi en voorbeeldlesmateriaal, worden vervolgens uitvoeriger omschreven. Ik volsta hier met een beknopte weergave in figuur 58. Opnieuw moet ik constateren dat de nadruk op kernconcepten weinig nieuwe gezichtspunten biedt. Voor de denk- en werkwijzen geldt dat deze op vaardigheidsniveau al zijn uitgewerkt in de nieuwe examenprogramma's. Blijft over de kolom thema's. Daarover wordt gezegd dat het gaat om thema's 'waarbinnen interdisciplinaire natuurwetenschappelijke activiteit plaatsvindt', met als toelichting: "*De meeste thema's zijn duidelijk maatschappelijke thema's, wat wil zeggen dat vraagstellingen in eerste instantie ontleend zijn aan de maatschappelijke vraagstukken (society driven). Het thema wereldbeeld echter is niet in eerste instantie ontleend aan maatschappelijke vraagstukken. Vraagstellingen komen hier primair voort uit de wens om verschijnselen beter te kunnen verklaren, of verklaringen beter te kunnen funderen (curiosity driven).*" Daarmee wordt de grens van het zoeken naar een betere afstemming dus overschreden en overgegaan op interdisciplinariteit. Het is opvallend hoe gemakkelijk dit gebeurt. Het zou immers betekenen dat, als je kijkt naar alle contexten die als uitwerking van de thema's worden genoemd, de grens tussen de monovakken en NLT, die volgens de critici van NINA toch al onder druk staat, nog verder vervaagt. En, moeten we dat wel willen?

Kernconcepten	Denk- en werkwijzen	Thema's
Systeem	Onderzoeken	Communicatie
Schaal	Ontwerpen	Duurzaamheid
Verandering	Modelleren	Gezondheid
Energie	Algemene vaardigheden	Materialen
Materie		Transport
Ruimte		Veiligheid
Tijd		Voeding
Wisselwerking		Wereldbeeld

Figuur 58. De mogelijkheden voor meer samenhang samengevat¹⁴².

*“An increasing number of scientists of different fields is working together in interdisciplinary subjects. For school science it is difficult to bring these interdisciplinary developments into the classroom. Pupils thus get an outdated view of science and of possibilities in science and technology for their future career. Also there are indications that interdisciplinary subjects are more attractive to pupils than classical science subjects, even more so for females.”*¹⁴¹ In feite komen de argumenten voor interdisciplinariteit in alle vernieuwingsstukken steeds hierop neer. Maar ook hierin lopen weer

twee zaken door elkaar. Er is de wens tot het behandelen van interdisciplinaire onderwerpen en er is de wens om zoveel mogelijk het front van de wetenschap op te zoeken. Dat zijn echter, in principe, twee verschillende zaken, die hier toch wat al te gemakkelijk, in voorwaardelijke zin, aan elkaar gekoppeld worden! Interdisciplinair natuuronderwijs, ofwel, zoals vormgegeven in NLT, geïntegreerd natuuronderwijs, is in principe niets nieuws. Met name in de jaren zeventig en tachtig van de vorige eeuw zijn er, vooral in de Angelsaksische wereld, veel 'integrated science' projecten ontwikkeld, waarvan een aantal overigens niet bijzonder succesvol was. Die zijn weer vervangen door 'coordinated science' (inderdaad, afgestemde monovakken!). Het is interessant om de toenmalige argumentatie te vergelijken met de huidige. De vroegere 'integrated science' projecten werden, geheel in de geest van die tijd, in het leven geroepen voor de 'non-gifted child', omdat je met zulk onderwijs beter zou kunnen aansluiten bij hun leefwereld. Dus ongeveer het tegenovergestelde van de huidige argumentatie voor NLT. Maar ook nu nog is de vroegere argumentatie niet helemaal verdwenen. Zo heb ik in figuur 18 en 19 de 'Ideas about science' en de 'Science explanations' beschreven van het recente 'Twenty First Century Science' project, dat bedoeld is voor het ontwikkelen van scientific literacy bij 14-16 jarige leerlingen. Dit lijkt een goed voorbeeld van een modern verantwoord interdisciplinair curriculum, zonder dat in de argumentatie met veel gehijg het front van de wetenschap moet worden gehaald. Ik heb sterk het idee dat de vernieuwingscommissies hierin elkaar bijna proberen te overtreffen. Zowel in de monovakken als in NLT ligt de nadruk sterk op 'moderne' wetenschap. Afgezien van het feit dat daardoor het gevaar van overlap tamelijk groot wordt, zoals we zien uit een vergelijking van de uitgewerkte programma's, doet zich ook de vraag voor of dit niet ten koste gaat van aandacht voor de ontwikkeling van basiskennis. Immers, het front van de wetenschap vraagt om het front van onze kennis en kun je die wel op een verantwoorde manier bereiken in de beschikbare onderwijstijd, gezien de benodigde hoeveelheid basiskennis? Misschien toch nog eens kijken naar het advies van de CMLN?

Dan nu de beginvraag, naar de samenhang en afstemming tussen de programma's van ANW, NINA en NLT. Bij de start van de Tweede Fase was dat duidelijk. In de onderbouw had je een nog grotendeels aan de basisvorming ontleende brede oriëntatie op natuur en techniek (al of niet vormgegeven in monovakken). In de bovenbouw de verdere uitbouw van de monovakken, die elk onderverdeeld waren in een deel voor het NG-profiel en een deel voor het NT-profiel. Ofwel, een profiel gericht op toekomstige gebruikers van natuurwetenschap, en een verdieping voor toekomstige beoefenaars van natuurwetenschap. ANW voegde daar een reflectie *op* natuurwetenschap aan toe, die in de N-profielen weliswaar niet zonder overlap was, maar daar viel mee te leven. Deze situatie lijkt door alle vernieuwingsdrift te zijn veranderd. De rol van ANW is, zoals we gezien hebben, gemarginaliseerd. Blijft over de relatie tussen de monovakken en NLT. Welnu, door de, overigens terecht, nadruk op contexten, vaardigheden en moderne topics, is deze relatie behoorlijk onduidelijk geworden. De interdisciplinariteit van NLT lijkt me eigenlijk onvoldoende, om het, als vak, een duidelijk eigen identiteit te verschaffen. Zeker vanuit het standpunt van de leerling gezien, zoals min of meer duidelijk wordt uit de evaluaties. We moeten daarbij immers bedenken dat het

interdisciplinaire karakter van NLT, voor ons als experts weliswaar heel duidelijk en kenmerkend is, maar voor leerlingen ligt dat vermoedelijk heel anders. Immers, zolang je je onvoldoende bewust bent van het *disciplinaire* karakter van de kennis van de monovakken, heeft het interdisciplinaire van NLT, als zodanig, geen basis¹⁴⁸. Vandaar dat leerlingen daarin dan ook niet meer samenhang ervaren. Het is voor hen toch vooral meer van hetzelfde, en voor een groot deel is het dat dan ook!

5.3 Afsluiting

In dit hoofdstuk heb ik aandacht besteed aan NLT en de recente trend naar meer samenhang besproken, die de implementatie van alle vernieuwingsvoorstellen zal gaan doordringen. Echter, alle nadruk op contexten, samenhang, interdisciplinariteit, op 'front'-inhouden, op scientific literacy en beroepsvoorbereiding is niet zonder didactische fricties, die zich voor een deel pas in de praktijk zullen openbaren. Eén van de oorzaken van die fricties, die tot nu toe niet genoemd is, ligt in de merkwaardige manier waarop een vak als NLT eigenlijk is ontstaan. De oorsprong van NLT ligt niet in de als overweldigend gevoelde noodzaak van een interdisciplinair vak, maar is veel mondainer. Het was het gevolg van de om schoolorganisatorische redenen bepleitte afschaffing van deelvakken in de N-profielen. Voor deze deelvakken, N2, S2 en B2, was geen plaats meer, terwijl ze nu juist bedoeld waren om toekomstige natuurwetenschappers te recrutereren. Welnu, omdat ook het 'beleid' inzag dat dit toch niet zonder enige compensatie kon gebeuren, is het idee van een nieuw profielkeuzevak ontstaan, dat dan natuurlijk juist ook verdiepend zou moeten zijn. En door het interdisciplinair te maken kon in een klap aan veler behoeften worden voldaan. Maar de vraag of de daardoor ontstane vakkenstructuur, gegeven alle na te streven onderwijsdoelen, ook de optimale is, is, bij mijn weten, nooit gesteld. We lopen hier tegen het feit aan dat de vakkenstructuur in ons onderwijs bepaald niet erg flexibel is. De monodisciplines hebben daar een van oudsher historisch bepaalde vaste plek in, al is die niet zonder meer heilig. Zoals bleek toen natuurkunde als basisvak, tot ontzetting van de fysici, uit het NG-profiel werd geknikkerd! In dat opzicht weerspiegelen nieuwe vakken als ANW

¹⁴⁸ Het lijkt me goed om, aan de hand van een misschien wat gekunsteld voorbeeld, even stil te staan bij de vraag of geïntegreerd natuuronderwijs wel hetzelfde is als interdisciplinair natuuronderwijs. Stel dat we het voedings- en spijsverteringssysteem van de mens willen behandelen. De bioloog zal dan vooral de vorm en functie van de verschillende onderdelen benadrukken. De chemicus gaat vooral in op de aard van de stoffen die gegeten worden en op hoe en wanneer die worden omgezet in heel andere stoffen. De fysicus zal een eenvoudig model maken van het systeem, als een lange semipermeabele buis met ingang en uitgang, en focussen op de gemiddelde input-, doorvoer- en outputsnelheden en op de mechanismen die daarvoor zorgen. In een geïntegreerde behandeling zal het systeem gewoon in al zijn aspecten behandeld worden en dat kan op aangepast niveau op elke leeftijd. Maar zou je een behandeling, in strikte zin, eigenlijk niet pas interdisciplinair mogen noemen als de bijdragen van de respectievelijke monodisciplines als zodanig herkenbaar gepresenteerd kunnen worden? Als zijnde een voor de verklaringsinteresse en aanpak van de betreffende monodiscipline karakteristieke bijdrage. Als dit laatste wordt nagestreefd, dan is het duidelijk dat dit pas kan nadat de monodisciplinaire kenmerken voor leerlingen functioneel opgeroepen kunnen worden. De huidige plaats van NLT zou zo'n interdisciplinaire aanpak mogelijk maken, maar in feite gaat het gewoon om meer of minder geïntegreerde modules.

en NLT een behoorlijk revolutionaire stap, maar het zijn wel toevoegingen aan de monovakken, geen vervanging. Je zou je dus de vraag kunnen stellen hoe de vakkenstructuur er uit zou zien als je van voren af aan zou kunnen beginnen. Zou het dan ook heel anders kunnen? Laten we eens wat proberen.

In de onderbouw lijkt een brede fenomenologische, op de leefwereld gerichte, oriëntatie op natuur, leven en techniek het meest voor de hand liggend. De opsplitsing in monovakken is daar eigenlijk niet (meer) gewenst, maar wel integratie en coördinatie. Daarna zou een vak als ANW voor de maatschappijprofielen overeind moeten blijven, gericht op 'scientific literacy light' voor deze leerlingen.

Voor de leerlingen in het (!) natuurprofiel is het echter de vraag of we de huidige structuur niet zouden moeten omkeren. Zou het niet veel beter zijn om te beginnen met een contextrijk geïntegreerd vak, bijvoorbeeld 'natuur, leven en technologie', met als doel het verwezenlijken van een breed en diep niveau van scientific literacy. Om daarna, mogelijk toekomstige natuurwetenschappers de keuze te bieden uit het volgen van meerdere monovakken. Deze kunnen dan gericht zijn op het expliciteren en verder uitbouwen van de disciplinaire (basis)theorieën, alsmede op het zicht geven op specifieke kenmerken van, en het onderzoek in deze disciplines. Deze structuur zou een aantal van de in voorgaande hoofdstukken besproken fricties tussen onderwijsdoelen, aandacht voor contexten, voor basiskennis en voor interdisciplinariteit kunnen oplossen. En bovendien uitstekend kunnen voorbereiden op het vervolgonderwijs! Ach, het is zomaar een idee!

6 Conclusie: elke maatschappij krijgt...

Elke maatschappij krijgt het natuurkundeonderwijs dat ze verdient! Met deze parafrase op Freudenthal⁶⁸ wil ik deze reflectie op deel 2 beginnen. Het is inderdaad misschien wel de belangrijkste constatering die we kunnen maken bij het overzien van vijftig jaar curriculumvernieuwing in het natuurkundeonderwijs. Valt er eigenlijk nog wel meer te zeggen dan dat? In deze afsluitende beschouwing zal ik proberen een aantal trends te deduceren uit al datgene wat in het voorgaande aan de orde is geweest. Ook al is trend-wachten een gevaarlijke bezigheid, als het over het verleden gaat, moet het toch kunnen!

Aan alle ontwikkelingen in het natuurkundeonderwijs liggen, naar mijn idee, steeds drie hoofdzaken ten grondslag. Dat zijn, in de eerste plaats, de maatschappelijke ontwikkeling in het algemeen; in de tweede plaats, de daaraan gerelateerde ontwikkeling van het algemeen pedagogisch-onderwijskundige klimaat, met bijbehorende geïnstitutionaliseerde onderwijsstructuur; en in de derde plaats de ontwikkeling van de natuurkunde als wetenschap en van de daaraan gerelateerde technologie. Laat ik, als amateur socioloog en wetenschapshistoricus, proberen hier een zeer beknopte schets van te geven, hoofdzakelijk gebaseerd op eigen ervaring en interpretatie, dat wil zeggen zonder wetenschappelijke pretenties.

De wederopbouw

Na de tweede wereldoorlog moest Nederland wederopgebouwd worden, wat inhield dat de zwaar verzuilde vooroorlogse maatschappijstructuur weer in ere werd hersteld. Het was een maatschappij waarin ieder nog zijn natuurlijke plaats had en ook kende. Dat gaf stabiliteit, rust en orde. Er moest ook hard gewerkt worden. Werkweken van 55 uur of meer waren, ook voor mij als vijftienjarig 'landarbeidend' kind, normaal. Gezag werd nog als vanzelfsprekend ontleend aan een functie. De dominee en de pastoor, de dokter en de politicagent, dat waren niet alleen autoriteiten, dat hadden ze ook. Daar durfde je als kind, maar ook als volwassene, niet zomaar tegenin te gaan. En dat gold net zo voor de onderwijzer en de leraar. Ook dat waren nog zeer gerespecteerde beroepen, grotendeels bestaande uit het geven van ouderwets degelijk klassikaal onderwijs. Het schoolsysteem was gebaseerd op een standenmaatschappij, met weinig sociale mobiliteit. Er was dan ook moed voor nodig om, als eenvoudige boer of arbeider, je kind naar een HBS of Gymnasium te sturen. En voor zover dat toch gebeurde, betrof het vooral zonen, voor dochters was het überhaupt nog niet aan de orde. Datzelfde gold uiteraard, en in nog sterkere mate, voor studeren. Dat was, zoals mijn moeder altijd zei, al helemaal niet weggelegd voor 'ons soort mensen'. Politiek leefden we in de angst van de koude oorlog, maar we hadden vertrouwen in 'onze leiders'. 'Allochtonen' kende ik alleen van de zendingsplaatjes op de lagere school. Wetenschap had nog iets hoogs en verhevens, maar bovenal was het voor mij heel ver weg. Natuurkunde had met de atoombom en het einde van de oorlog te maken. Vanwege haar

grote successen stond het, als meest fundamentele discipline, in hoog aanzien. Te meer daar het nu ging om 'atoms for peace', zoals Eisenhower ons had verzekerd. Superieure natuurwetenschap en technologie waren, zeker na de Spojtnik, bovendien een noodzakelijke verzekering voor behoud van westerse vrijheid.

Het natuurkundeonderwijs had toen nog een hoog 'apparatengehalte' (lenzen en kijkers, katrollen en hefboomen, thermometers, barometers, etc.). Begrijpelijk in die tijd. Als kind nam je dat tot je, zonder daar überhaupt een vraagteken bij te stellen. Dat kwam niet in je op, ook al had het niets met je leefwereld te maken. Je deed wat de leraar natuurkunde je opdroeg, zo simpel was het. Maar vernieuwingen moesten er voor zorgen dat de structuur van de natuurkunde als fundamentele wetenschap tot belangrijkste leidraad werd.

De welvaartsstaat

Echter, naarmate de welvaart toenam, veranderde deze wereld. Met de 'rock 'n roll' diende zich een nieuw fenomeen aan. Kinderen waren niet langer alleen maar nog-niet-volwassen volwassenen, het was het begin van de jeugdcultuur. De auto voor de gewone man deed zijn intrrede, evenals de televisie. Onze wereld werd groter. We kregen meer vrije tijd en gingen op reis. Nog herinner ik me de verhalen van een oom op verjaardagen, over reisjes naar de Rijn en de Moezel, waar door de hele familie met ontzag naar werd geluisterd. We ontvingen de eerste buitenlanders als gast om ons vuile werk te doen. De toestroom tot het middelbaar onderwijs nam toe, en een nieuw schoolsysteem moest, dankzij de Mammoetwet, meer sociale mobiliteit mogelijk maken. Ook de universiteiten groeiden als kool. De op solidariteit gebaseerde verzorgingsstaat naderde haar voltooiing. Gezag werd trouwens heel wat minder vanzelfsprekend. De volwassen wordende jongeren van de babyboomgeneratie begonnen zich, internationaal, steeds meer af te zetten tegen de gevestigde orde. De jeugdcultuur kreeg met de 'flower power' zelfs een dominante maatschappelijke invloed. Anti-Vietnamdemonstraties zetten de politiek op zijn kop, evenals de roep om vergaande maatschappelijke democratisering en emancipatie, dat laatste in het bijzonder van vrouwen. De politiek ondersteunde dat met slogans als 'meer mensen mondig maken' en 'eerlijk delen', en door het regelen van soms vergaande medezeggenschap. Het grootkapitaal, de multinationals, zaten trouwens helemaal in het verdomhoekje.

Het onderwijs moest niet alleen dit mondiger maken gaan verzorgen, door de achteruitgang van instituties als kerk en gezin moest het ook hun opvoedingsrol gaan overnemen. En dus: doelverbreding, meer algemene vorming en leerplichtverlenging. Scholengemeenschappen moesten garant gaan staan voor dat brede aanbod. Dat vroeg om minder tot geen klassikaal onderwijs en de brede brugklassen vroegen om verlenging en differentiatie. Ook in het onderwijs sloeg de democratisering toe, in allerlei overlegraden en meepraatstructuren. Docenten werden, zij het niet overal, in plaats van meneer en mevrouw gewoon Piet, Jan en Marie.

Ook de kijk op wetenschap veranderde drastisch. Door de energiecrisis, de zichtbaar wordende grenzen aan de groei en de eerste milieuproblemen kwam met name de chemie in een kwaad daglicht te staan, maar ook de natuurkunde kreeg een zware tik mee vanwege kernenergie, kernbepapening en in het bijzonder de neutronenbom. Wetenschapskritiek was ineens aan de orde van de dag. Onderzoek moest maatschap-

pelijk relevant zijn en, via wetenschapswinkels, ook beschikbaar zijn voor de gewone man. Het natuurkundeonderwijs kon dit niet allemaal volgen. De vernieuwingsvoorstellen van de CMLN, nog kenmerkend voor het denken van een overigens best goedwillende gevestigde orde, waren eigenlijk al verouderd voor ze waren verschenen. Het PLON zou dat allemaal wel eens gaan rechtzetten, later in samenwerking met het NAS-project.

Grenzen aan de groei

Echter, de maakbare samenleving bleek minder maakbaar dan gedacht en gehoopt. De energiecrisis bleek de opmaat tot een veel verdergaande economische neergang. De democratisering en toegenomen welvaart sloegen door in een ondraaglijke ik-cultuur. Internationaal werden de economische problemen bestreden door een rigoureuze neoliberalisme. Bij ons werd het polderen uitgevonden en daardoor ging het hier allemaal wat rustiger. En zoals altijd in tijden van crisis, wetenschap moest leiden tot meer innovatie. Zo herinner ik me de hoogleraar kernfysica die, eind jaren zeventig, te pas en te onpas verkondigde dat er iets heel belangrijks was uitgevonden, de microprocessor. Zijn collega's waren niet onder de indruk, maar de maatschappij des te meer. Wie had toen kunnen voorspellen hoe snel deze technologie de wereld zou veranderen. Postmoderne filosofen begonnen trouwens te beweren dat wetenschap eigenlijk niet meer inhield dan verhalen vertellen, die ook nog steeds veranderden. Ieder zijn eigen waarheid. Kennis werd vergankelijk en relatief.

De wisseling van politieke gezichten maakte dat de brede middenschool in de ijskast werd gezet en uiteindelijk slechts ontaardde in een magere basisvorming. Maar gelukkig zou de computer het onderwijs gaan redden, volgens vele ICT-goeroes. Bovendien, als iemand honger heeft, moet je hem geen vis geven, maar leren vissen. En dus verschoof het accent van vergankelijke kennis naar blijvende vaardigheden.

In het natuurkundeonderwijs moesten eerst de grote aspiraties van de jaren zeventig, zoals uitgewerkt door het PLON en anderen nog geïnstitutionaliseerd worden. Dat was de taak van de WEN, die dit overigens, door de alweer in een andere richting waiende wind, slechts in verdunde vorm heeft gedaan. De volgende verandering zat er immers al weer aan te komen.

De nieuwe economie

De economie herstelde zich, dankzij een ongeremd aandelenkapitalisme en een internetzeepbel. Het grootkapitaal werd volledig in ere hersteld. Het motto werd dat ieder zelf verantwoordelijk was voor zijn eigen leven. Ieder voor zich, ook al was het niet eens meer zeker dat er een god was voor ons allen. Niet 'nurture' dus, maar 'nature' was bepalend voor het ontwikkelen van je vaardigheden, talenten en competenties. De val van de muur en de opkomst van Europa zorgden voor nieuw elan. En dat ging geweldig, tot de zeepbel barstte, en de banken en de euro instortten. De ik-cultuur bleek een graaicultuur te zijn geworden, waarin een televisiepresentator van onbenuligheden zonder blikken of blozen kan verklaren het terecht te vinden dertigmaal moedaal te verdienen. Waarin de prachtige verzorgingsstaat bijna is afgebroken omdat hij onbetaalbaar is gebleken en waarin gasten niet langer welkom zijn. Een maatschappij van 'winners' en 'losers', en beiden hebben dat gewoon aan zichzelf te danken!

De belangrijkste trends samengevat

Maatschappelijke tijdgeest

Verzuiling en standen-gerelateerd schoolsysteem: ieder zijn natuurlijke plaats → democratisering en beginnende schaalvergroting: gelijke kansen voor alle leerlingen, in het bijzonder de zwakkeren → megascholen, managers en vrije marktwerking: ieder kind excellent ten aanzien van eigen talent.

Natuurkunde, technologie en wetenschap

Natuurkunde als paradigmatische wetenschap → komt onder zware kritiek, onderzoek moet maatschappelijk relevant worden → postmodern wetenschapsrelativisme, accent verschuift naar technologische innovaties → biologie neemt de toekomst over.

Inhoud natuurkundeonderwijs

Van apparaat- en verschijnsel-gerelateerde fenomenologische theorieën → naar een samenhangende verklarende conceptuele structuur van de discipline → die, aangevuld met leefwereld/technische/maatschappelijke contexten → en aandacht voor de 'nature of science' → nu moet leiden tot scientific literacy → met als verdieping: interdisciplinariteit/technologie/beroepspectief.

Onderwijsdoelen

Van feitenkennis → naar conceptueel inzicht → en inzicht in het onderzoeksproces → uit te bouwen tot onderzoeksvaardigheden → in samenhang met algemene vaardigheden.

Hulpmiddelen

Van krijt met bord en demonstratieapparatuur → overheadprojector, films, dia's → apparatuur voor leerlingexperimenten → hardware voor meten en dataverwerking → software voor simulaties en modelleren → tot internet, applets, physlets en het digitale schoolbord.

Onderwijsvormen

Overdracht door de leraar → groepspracticum en ontdekkend leren → actief construerend leren in groepen → zelfstandig leren en onderzoeken → en terug?

Onderwijskundige theorie

Behaviorisme: doelstellingen, geprogrammeerde instructie, mastery learning → ontwikkelingspsychologie: Piagetniveaus en discovery learning → cognitieve psychologie: cognitieve structuur, denkhandelingen en metacognities → constructivisme: pre/misconcepties en conceptual change → sociaal constructivisme/cultuurhistorische aanpak: cognitive apprenticeship, communities of practice, enculturatie, coöperatief leren.

Figuur 59. De belangrijkste trends samengevat. De pijlen geven de ontwikkelingsrichting aan, waarbij het meestal zo is dat er geen sprake is van vervanging, maar van 'er bij komen'.

Van de wetenschap worden opnieuw grote dingen verwacht, wetenskapskritiek is verdwenen. Maar het moet wel voor weinig geld, en vooral in samenwerking met het bedrijfsleven. Toepasbaar, dus. Helaas, voor de natuurkunde is het paradijs voorbij.

De eeuw van de natuurkunde heeft plaats moeten maken voor de eeuw van de biologie. Het toneel is nu voor het brein en het genoom, met nog wat nano in de coulissen. En ook al vond men nog wel een loslopend Higgsdeeltje, natuurkunde wordt tot hulpwetenschap van de 'life sciences'.

Het onderwijs werd geconcentreerd in megascholen, met een nieuwe kaste van managers, die zich laten leiden door marktwerking. Onderwijs als product. Docenten werden vervangen door coaches en klassenassistenten, wat niet erg was omdat leerlingen het toch allemaal zelfstandig moesten kunnen doen. Dat bleek toch tegen te vallen, zodat we nu weer terug moeten naar de basisvaardigheden. En dat ondanks de aandacht voor competenties en ICT, en de verdere hulp van 'het nieuwe leren'. Scholen, docenten en leerlingen moesten vooral vrijheid hebben voor eigen keuzes. En nu is het probleem hoe dat allemaal weer een beetje terug te draaien tot normale proporties. Het natuurkundeonderwijs moet mee op deze golven. Het moet 'scientifically literate' burgers opleiden, maar ook voorbereiden op technische en wetenschappelijke beroepen. Het moet 'aantrekkelijk' en 'uitdagerend' zijn en bovenal 'modern' en dus ook 'interdisciplinair'. Of het ook begrijpelijk is, wordt steeds minder belangrijk zolang we op de internationale vergelijkingslijstjes maar hoog scoren. Het accent ligt nu op de beoefende leerlingen en die blijken tot grote dingen in staat, als we ze maar aanspreken op hun talenten! Dan blijken ze excellent, zoals wij eigenlijk allemaal!

Continue crisis?

Tot zover een nogal subjectieve weergave van de moderne geschiedenis. In figuur 59 heb ik de belangrijkste trends nog eens samengevat. Meestal is er niet zozeer sprake van dat het volgende het voorgaande vervangt, maar dat er cumulatie optreedt. Het nieuwe komt er langzaam bij. Overigens is de laatste trend, de rol van de onderwijskundige theorie, tot nu toe niet aan de orde geweest. Die trend wordt het onderwerp van deel 3.

Misschien bent u het met veel van het bovenstaande oneens, of mist u belangrijke zaken. Dat zou me eigenlijk niet verbazen, maar is ook niet zo belangrijk voor de grote lijn. Kern daarin is dat we in een steeds sneller veranderende maatschappij leven. We zuchten onder de 'dictatuur van de dynamiek', ook in het natuurkundeonderwijs. Tegelijkertijd heeft onderwijsverandering een grote traagheid, er is al snel een tijd van twintig jaar nodig voordat een majeure verandering echt is ingeburgerd en geïnternaliseerd door de docenten. En dus loopt het onderwijs tegenwoordig altijd achter op de maatschappelijke verandering. Ik denk dat daarin de verklaring ligt van het feit dat we nu al vijftig jaar bezig zijn met het oplossen van de 'crisis' in het natuurwetenschappelijk onderwijs. En wat dat betreft, zijn we dus nog niet echt veel opgeschoten!

Vooruitgang?

Is er nu ook sprake van vooruitgang, zult u zich misschien afvragen. Een vraag die door Freudenthal al als oneigenlijk werd aangemerkt. Een vraag waarvoor ik nu toch geneigd ben naar mijn parabel uit hoofdstuk 1 te verwijzen. Vooruitgang? Jazeker, zullen de bestuurlijk verantwoordelijken antwoorden, en daarbij trots wijzen op alle dynamische maatregelen die genomen zijn om het natuurkundeonderwijs inhoudelijk en technologisch bij de tijd te houden. Om het gereed te doen zijn voor de toekomst!

Ontwikkelingen in natuurkundeonderwijs

De docenten missen vaak het historisch overzicht en hebben eigenlijk ook geen tijd om daar diep over na te denken. Zij hebben immers hun handen meer dan vol om al die vernieuwingen te kunnen hanteren. Om te overleven in een stormachtige onderwijswereld.

Leerlingen zijn vooral twitterend en tweetend bezig met elkaar te verkennen. School is een lastige onderbreking van hun sociale leven en dat gaat alleen goed zolang onderwijs boeiend en leuk is. En de docent moet daarvoor zorgen, anders ‘zappen’ ze weg, letterlijk of figuurlijk. Zij hebben, terecht, geen boodschap aan een verleden dat ze niet kunnen kennen.

En dus resulteren er slechts een aantal mopperende ouderen, zoals misschien u en ik, dat enerzijds wel degelijk begrip heeft voor alle noodzakelijke vernieuwingen, maar, anderzijds, toch niet aan het vage gevoel kan ontkomen dat het heel moeilijk is om van vooruitgang te spreken. Dat vroeger toch niet alles even slecht was, en sommige zaken misschien zelfs wel beter. Zij hebben alle argumenten al eens eerder voorbij zien komen, evenals alle oplossingen. Natuurlijk, altijd net weer iets anders, nooit helemaal hetzelfde. Maar toch?

Deel 3

Onderzoeksgeïnduceerde bijdragen aan de didactiek van de natuurkunde: over het hoe en het waarom

Over didactische ‘theorieën’ van toen en nu

Doel

Dit is geen psychologisch deel, dat is niet mijn deskundigheid en ik streef dan ook geen psychologische volledigheid na, noch een zódanige theoretische diepgang. Het gaat me hier om het bespreken van een aantal voor de onderwijspraktijk belangrijke natuurkunde-didactische ontwikkelingen, dat hun oorsprong heeft in psychologische theorieën over ontwikkeling, leren en onderrichten. Ook vanuit die optiek is er immers een voortdurend streven tot didactische vooruitgang, belaaft met wisselend succes! Kennelijk is dat nog niet zo eenvoudig te verwezenlijken. Opnieuw blijkt dat de theoretische retoriek niet altijd resulteert in een daarmee overeenkomende praktijk. En lijkt er ook vaak sprake van kortdurende ‘modes’, waaruit geen blijvende lessen worden getrokken. Maar gelukkig zijn er ook positieve resultaten te melden. Dit alles zichtbaar maken is mijn doel.

*“I have rather studied
books than men.”
F. Bacon (1765)*

7 Van ‘Bildung’ tot Bruner en van ‘PSI’s’ tot Piaget

7.0 Doel

Dit hoofdstuk wil, na een kort historisch begin, eerst beschrijven wat het behaviorisme het natuurkundeonderwijs te bieden had. Het gaat dan om het formuleren van doelstellingen, geprogrammeerde instructie en ‘mastery learning’. Daarna wordt aandacht besteed aan de toentertijd invloedrijke theorie van Piaget, zijn ontwikkelingsniveaus en zijn visie op cognitieve ontwikkeling. Het CSMS-project heeft geprobeerd deze theorie bruikbaar te maken voor de onderwijspraktijk. Het CASE-project probeerde, door goede interventies, de cognitieve ontwikkeling te versnellen. Toch hebben beide projecten niet geleid tot een blijvende bijdrage, net als Piaget’s theorie. Piaget was ook een groot voorstander van ‘discovery learning’. Dat heeft wel veel invloed gehad. En die is er nog steeds. Daarom wordt ook daar uitgebreid bij stil gestaan.

7.1 De situatie voor het begin

In 1950 werd de Werkgroep Natuurkunde van de ‘Werkgemeenschap voor de Vernieuwing van Opvoeding en Onderwijs’ opgericht., de huidige Werkgroep Natuurkunde-Didactiek. Misschien kun je zeggen dat dit het begin was van een meer wetenschappelijke ontwikkeling van de natuurkundendidactiek in ons land. Al was het wetenschappelijke karakter aanvankelijk vooral geesteswetenschappelijk van aard en nog nauwelijks gebaseerd op empirisch onderzoek¹⁴⁹. Belangrijke spil in de werkgroep was de persoon van Minnaert^{6,150}, die al voor de oorlog lid was geworden van deze werkgemeenschap. Zij propageerden dat de opvoeding in het teken moest komen te staan van vrede en samenwerking tussen de volkeren. Minnaert had al in 1924 zijn ‘Natuurkunde in leerlingenproeven’ gepubliceerd, omdat hij overtuigd was geraakt van de noodzaak om op alle niveaus van het natuurkundeonderwijs het experiment een belangrijke rol te laten spelen, en de zelfwerkzaamheid te vergroten⁶. Zijn credo luidde: “*Er was eens een tijd, toen men aan kinderen de natuur leerde kennen uit tekeningetjes op het bord of in een boek: dat was de natuurkunde met krijt en spons. Daarna kwam een tijdperk, waarin als voornaamste eigenschap van goed onderwijs de aanschouwelijkheid werd geprezen. De leraar voert voor de klas een proef uit, en alle kinderen mogen die bewonderen, zo goed en zo kwaad als dat van verre*

¹⁴⁹ De eerste voorzitter, Dr. W.P.M. Lignac, omschreef dit later (1983) als volgt: “Tot omstreeks 1960 bestonden de maandelijkse bijeenkomsten uit individuele bijdragen van de leden. Er waren er nogal wat die iets origineels te bieden hadden. Denk maar aan de namen die ook nu nog aan de meesten bekend zijn: Dijkwel, Frederik, Krans, Rekveld, Steller, Wijn Nobel en Zwaan.” In: verslag WND-Woudschoten conferentie.

¹⁵⁰ L. Molenaar (2003). *De rok van het universum. Marcel Minnaert, astrofysicus 1893-1970*. Amsterdam: Balans. De rol van Freudenthal in de overeenkomstige Werkgroep Wiskunde is beschreven in: S. la Bastide-van Gemert (2006). *Elke positieve actie begint met kritiek. Hans Freudenthal en de didactiek van de wiskunde*. Hilversum: Verloren.

mogelijk is (...). Sedert Ligthart, Kerschensteiner, Montessori, is de leuze van de school geworden: zelfwerkzaamheid! En een schaar geestdriftige mannen en vrouwen hebben met opofferende toewijding dit beginsel verkondigd, toegepast en uitgewerkt. In dit teken ontwikkelde zich de natuurkundige leerlingenproef.”

We zie hierin de invloed van bekende ‘grote’ pedagogen en het verbaast dan ook niet dat Minnaert zich met zijn leerlingenproeven met name ook richt op het jonge kind, die hij met behulp van allerlei eenvoudige spulletjes in aanraking wil brengen met het onderzoeken van de natuur. *“Het kind moet zelf rechtstreeks in aanraking komen met de natuur; het wil niet alleen de dingen zien, goed zien, maar het wil ze voelen, ruiken, horen van nabij; ‘zijn’ proef moet het worden! Dan pas wordt de spierzin geoefend, het belangrijkste onzer zintuigen, en in duizenden nieuwe ervaringen leren wij hoe onze bewegingen inwerken op de dingen om ons heen. Daarom moet iedere leerling zijn eigen toestelletje hebben, waar hij aan bouwen en wijzigen kan volgens het spel zijner verbeelding, en de eis van zijn gezond verstand; een toestel waar hij metingen mee kan uitvoeren, opdat de cijfers voor hem leven zouden krijgen. Zo kan iedere les een heerlijk uur worden van ontdekkingsvreugde. (...) Zo groeit vanzelf de lust tot samenwerking dat edel, echt menselijk gevoel, van zulke onschatbare waarde voor het leven en de maatschappij.”* In deze laatste zin herkennen we een hoger doel, dat zo kenmerkend was voor het toen invloedrijke Duitse ‘Bildungsideal’, ook al was de nadruk op zelfwerkzaamheid een pedagogische reactie op het sterk intellectuele karakter van dat ideaal. Didactiek als ‘Theorie der Bildungsgehalte’¹⁵³, waarmee bedoeld werd dat het in het onderwijs niet alleen ging om het overdragen van kennis, maar met name ook om het aanbrengen van verantwoordelijkheidsbesef en gewetensvorming. *“Het gaat de Bildungstheoretici erom de culturele eenheid, die in deze veranderende samenleving niet meer bestaat, toch te waarborgen. Als de staat deze eenheid niet kan waarmaken, is het de leraar-opvoeder als representant van de samenleving, die dit ‘Bildungsideal’ moet nastreven. Behalve ‘Theorie der Bildungsinhalte’ als objectief gegeven is de Bildungstheorie ook een ‘Theorie des Selbstverständnisses des Lehrers’, wat haar subjectieve kant vormt. Deze is tevens normatief, want de leerkracht krijgt de taak de vorming van het kind en de eenheid in de cultuuroverdracht te bewerkstelligen. De bijdragen van de Bildungstheoretici richten zich in hoofdzaak op doel- en inhoudsproblemen. Vragen naar werkwijzen, media en evaluatievormen komen bij hen veelal niet aan de orde.”*¹⁵³

De invloeden hiervan herkennen we in discussies in het Interbellum over het onderwijs in de exacte vakken. *“Hoofddoel van het wiskunde-onderwijs is het bijdragen tot geestelijke vorming en ontwikkeling; nevensdoel het aanbrengen van nuttige kennis”,* aldus de Commissie Beth (1924) in haar ‘Ontwerp van een leerplan voor het onderwijs in wiskunde, mechanica en kosmographie op de HB-scholen met vijfjarige cursus’¹⁵⁰. Een opvatting waartegen Freudenthal zich altijd sterk heeft verzet: *“Ook al sloot bij het feit dat ‘leren denken door wiskunde-onderwijs’ in zekere mate mogelijk was niet uit, toch moest volgens Freudenthal de allereerste – en ook allerlaatste – taak van het wiskunde-onderwijs het onderwijzen van wiskunde zijn, waarbij de technische en culturele betekenis van de wiskunde de criteria vormden. ‘Leren denken’ mocht niet als legitimering voor het wiskunde-onderwijs dienen.”*¹⁵⁰

In het Beth-leerplan zien we ook dat de mechanica en de kosmografie onderwezen moesten worden als een axiomatisch-deductieve wetenschap, in feite dus als een vorm van wiskunde, waarbij elke bewering zonder beroep op aanschouwelijkheid uit algemene regels kan worden afgeleid. De bekende wetenschapshistoricus Dijksterhuis onderscheidde een ‘empirisch weten’ op grond van ervaring en herinnering, en een

‘epistemisch weten’ op grond van onderlinge samenhang van feiten en abstracties. En de vraag waarom gevochten werd, was dus of de mechanica ingelijfd moest blijven bij de ‘epistemische’ wiskunde, of als ‘ervaringsleer’ bij de natuurkunde hoorde. Dijksterhuis verdedigde het axiomatische karakter van de mechanica met een beroep op de ‘evidentie van de zuivere rede’. Waarop Minnaert repliceerde: “*Niets is onjuister en gevaarlijker dan deze bewering.*”

Uiteraard keerde hij zich ook fel tegen het axiomatische kosmografie-onderwijs. In 1946 schreef hij: “*Het onderwijs in de sterrenkunde aan de middelbare scholen is lange tijd een klassiek voorbeeld geweest van de wijze waarop men een prachtige wetenschap door schoolvosserij kan verknoeien. De schoonheid van de sterrenhemel werd vervangen door een stelsel van cirkels en coördinaten, de stralende hemellichamen werden oefenobjekten voor de trigonometrie.*”⁶

Tot zover een zeer beknopte impressie van de sterk pedagogisch gemotiveerde discussies over de bijdrage aan persoonsvorming door exact onderwijs¹⁵¹, waarvan de invloed nog doorsijpelde tot in de CMLN. Dit Bildungsideal heeft trouwens ook sterke invloed gehad op ons onderwijssysteem als geheel, met name voor wat betreft de scheiding tussen algemeen vormend onderwijs en beroepsonderwijs. De ‘Bildung’ of klassieke vorming, met het accent op geesteswetenschappelijke, literaire vorming vond, idealiter, plaats op het Gymnasium, terwijl de ‘Ausbildung’, of praktische vorming, in het beroepsonderwijs plaatsvond. De nadruk op algemene vorming voor iedereen, heeft, vanaf de Mammoetwet, echter deze tweedeling doorbroken (al vinden velen nu dat dat is doorgesloten). Dat weerspiegelt de na de Tweede Wereldoorlog sterk afgenomen invloed van het Duitse geesteswetenschappelijke denken, gepaard gaande met een sterk toegenomen Amerikaanse invloed. Het veel pragmatischer en empirischer Angelsaksische denken over onderwijs, alsmede de toen geldende positivistische kijk op wetenschap, hebben, in de jaren na de oorlog, geleid tot de geleidelijke opkomst van de onderwijskunde als wetenschapsgebied en dus ook van het empirisch onderwijskundig onderzoek. En uiteindelijk, in aansluiting daarop, ook tot een onderzoeksmatige bijdrage aan de natuurkundedidactiek, met name gericht op de methodiek, ‘het hoe’.

Deze bijdrage was aanvankelijk nog vooral toegepast onderwijskundig van aard, blijkend uit de toepassing van behaviouristische en ontwikkelingspsychologische ideeën in het natuurkundeonderwijs. Daarnaast waren er, zoals beschreven in hoofdstuk 2, ook toen bekende psychologen als Bruner en Gagné betrokken bij de ‘grote’ Amerikaanse ontwikkelprojecten, die daarin dus een toepassingsgebied vonden voor hun theorieën. Zoals beschreven in hoofdstuk 1, als gevolg van alle internationale ontwikkelprojecten ontstond er ook een groep van ‘science educators’, die het science-onderwijs als wetenschappelijk werkgebied zagen, en door middel van empirisch onderzoek trachtten te komen tot didactiekvernieuwing en -verbetering. Dit deel van mijn boek, te beginnen met dit hoofdstuk, wil de resultaten hiervan in beeld brengen en kritisch tegen het licht houden. Maar eerst een waarschuwing, of misschien vindt u het wel een geruststelling, vooraf. Onlangs is er een artikel gepubliceerd onder de titel “*Why Minimal Guidance during Instruction does not Work: An Analysis of the Failure of Con-*

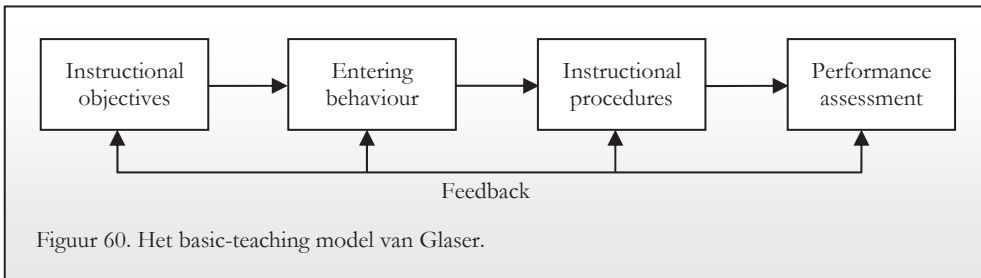
¹⁵¹ Dat dit typisch Duitse denken trouwens hardnekkig is, moge blijken uit de volgende bundel: P. Häussler (1992) (Hrsg.). *Physikunterricht und Menschenbildung*. Kiel: IPN.

*structivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching*¹⁵². Dus dat belooft eigenlijk niet veel goeds.

7.2 Het begin: doelstellingen in soorten en maten

7.2.1 Introductie

Laten we om te beginnen even teruggaan naar mijn uitstekende HBS-bovenbouwleraar uit hoofdstuk 1. Hoe zag een standaardles bij hem er ook al weer uit? Voor zover ik me dat herinner begon hij met het overhoren van het huiswerk en het bespreken van huiswerksommen. Daarna uitleg van nieuwe theorie, al of niet gekoppeld aan een demonstratie-experiment. Meestal werd er dan een oefenopgave over de nieuwe stof voorgemaakt, om te eindigen met het nieuwe huiswerk. En om de zoveel weken een proefwerk. Zoals gezegd, rustige, in ieder geval voor mij, interessante lessen van een als goed ervaren docent. Als je hem gevraagd zou hebben op wat voor leer- of instructietheorie zijn lessen gebaseerd waren, zou hij je waarschijnlijk vreemd aangekeken hebben en iets hebben gemompeld als: “geen idee, gewoon ervaring en gezond verstand”. Maar misschien doe ik hem daarmee onrecht. Ik denk dat dit toen de algemeen gangbare manier van lesgeven was en het zou me niet verbazen als deze vorm nog steeds een dominante rol speelt in de onderwijspraktijk. En dat ondanks dat we hierop termen hebben leren plakken als ‘directe instructie’, ‘overdrachtsdidactiek’ en ‘passief leren’. Termen die suggereren dat het, idealiter, eigenlijk toch heel anders zou moeten. En over al dat andere, wat in de loop der jaren naar voren is gebracht, wil ik het nu gaan hebben.



In het jarenlang toonaangevende boek ‘Beknopte Didaxologie’¹⁵³ wordt begonnen met het weergeven van een ‘basic-teaching model’ (figuur 60), waarin het onderwijzen in vier basale componenten, tezamen met een terugkoppelingsmechanisme, wordt opgedeeld. Iedere onderwijsgevende zal deze componenten herkennen en er aandacht aan besteden. Zo zal iedere onderwijsgevende altijd bepaalde doelen nastreven, zonder die

¹⁵² P.A. Kirschner, J. Sweller & R.E. Clark (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41, 75-86.

¹⁵³ E. de Corte et al. (1974). *Beknopte Didaxologie*. Groningen: Tjeenk Willink.

overigens vaak heel expliciet te formuleren. In de jaren vijftig tot zeventig van de vorige eeuw werd daar echter wél bijzonder veel aandacht aan besteed. De achtergrond daarvan lag in het toen dominante ‘behaviorisme’. Leren werd daarin, bijvoorbeeld, gedefinieerd als ‘het proces waardoor op grond van interactie met de omgeving of reacties op een situatie, een relatief duurzaam *gedrag* ontstaat of veranderd wordt (rijping uitgezonderd)’. Kortom, alle accent lag op gedrag, zoals ook blijkt uit het tweede blok in figuur 60 waarin sprake is van ‘entering behaviour’. De lerende was een ‘black box’ waarin door bij het aanwezige gedragsrepertoire aansluitende prikkels (de input), als respons (of output) een nieuw gedragsrepertoire moest ontstaan.

7.2.2 Doelstellingen formuleren

Vandaar de gevoelde noodzaak om, in het onderwijs, dat gewenste gedragsrepertoire zo gedetailleerd mogelijk vak-logisch te analyseren en zo operationeel mogelijk te gaan omschrijven in termen van gedragsdoelstellingen. Een voorbeeld daarvan zijn we al tegengekomen in hoofdstuk 2 voor wat betreft de procesvaardigheden in het SAPA-project. Operationele doelstellingen horen te zijn geformuleerd in termen van *meetbaar* eindgedrag. Aan die formulering werden strenge eisen gesteld. Omdat een gedragsleerdoel dient aan te geven welke gedragingen van een leerling verwacht worden, is het noodzakelijk in de formulering een *werkwoord* te gebruiken, dat eenduidig uitdrukt welke *observeerbare activiteit* de leerling kan uitvoeren wanneer hij de doelstelling bereikt heeft. Werkwoorden die beter niet gebruikt kunnen worden zijn: weten, begrijpen, beheersen, enige kennis hebben van, inzicht hebben in, etc.. Beter zijn werkwoorden als: schrijven, opnoemen, aanduiden, herkennen, berekenen, ordenen, etc. Ook moet in de formulering zo concreet mogelijk worden aangeduid op welke inhoud de leerling de beschreven gedragingen moet kunnen toepassen. Ook moet een beschrijving van de voorwaarden waaronder de beschreven gedragingen moeten kunnen worden toegepast, worden gegeven, evenals van een minimumprestatie die nog als succesvol kan worden aanvaard. De wijze van toetsing ligt dus reeds in de doelstelling besloten. Drie voorbeelden ter verduidelijking:

- ‘Uit het hoofd minstens tien verschillende materialen kunnen opnoemen en aangeven of dat goede elektrische geleiders of isolatoren zijn.’
- ‘Uit het hoofd de postulaten van het atoommodel van Bohr kunnen noemen, en minstens twee experimenten kunnen beschrijven en hiermee verklaren.’
- ‘Gegeven de ingestelde meetopstelling, de constante van Planck, in één lesuur, met een nauwkeurigheid van 10% kunnen bepalen.’

Hieruit moge duidelijk zijn dat, alhoewel de nadruk op het formuleren van gespecificeerde doelstellingen voor de ‘gewone docent’ weer grotendeels verdwenen is, dit in de toets- en examensfeer nog zeker niet het geval is. Begrijpelijk, want juist daar willen we immers precies weten wat een leerling nu wel of niet moet kunnen. De ‘gewone docent’ zal zijn doelstellingen voor de les nog meestal impliciet laten en genoegen nemen met de veel algemenere doelstellingen zoals we die in de vorige hoofdstukken zijn tegengekomen. Op dat algemene niveau, voor een heel vak, curriculum of project, geven die dan een beeld van de rationale van waaruit programmaontwikkelaars hebben

gewerkt, en waaraan docenten geacht worden zich te committeren!¹⁵⁴ De details in de praktijk vult die docent dan zelf wel in.

7.2.3 Doelstellingen ordenen: Taxonomie van Bloom

Behalve aan het formuleren van doelstellingen is er ook veel aandacht besteed aan het ordenen of classificeren. Het bekendste middel daarvoor is de cognitieve taxonomie van Bloom en anderen, die ook vandaag nog gebruikt wordt. De belangrijkste hoofdindeling betreft die in *kennis* en *intellectuele vaardigheden*. Onder kennis wordt verstaan: 'het kunnen reproduceren van zowel specifieke als algemene begrippen, van methoden en processen, van modellen, structuren en omvattende kaders.' Psychologisch gaat het hierbij dus vooral om een zich kunnen herinneren.

Intellectuele vaardigheden (of 'inzicht' in ruime zin) refereren aan systematische werkwijzen en gegeneraliseerde technieken om met feitenmateriaal en met probleemstellingen te kunnen werken. Psychologisch ligt dan de nadruk op mentale processen die het systematiseren en herstructureren om een bepaald doel te bereiken, mogelijk maken. Ofwel, niet reproductie, maar productie van informatie staat daarin voorop.

Ik zal nu beknopt de indeling van Bloom's cognitieve taxonomie weergeven:

A Kennis

1.10 *Kennis van specifieke inhoud*

1.11 terminologische kennis

1.12 kennis van specifieke feiten

1.20 *Kennis van specifieke werkwijzen*

1.21 kennis van conventies

1.22 kennis van richtingen en volgorden

1.23 kennis van classificaties en categorieën

1.25 kennis van methodologie

1.30 *Kennis van algemene begrippen en abstracties*

1.31 kennis van ordeningsbeginselen en generalisaties van detailkennis

1.32 kennis van structuren en theorieën

B Intellectuele vaardigheden

2.00 *Begrip*

2.10 vertaling

2.20 interpretatie

2.30 extrapolatie

3.00 *Toepassing*

¹⁵⁴ Dat zien we in meer of mindere mate terug in alle examenprogramma's van de afgelopen jaren. En ook in de meest recente werkversie 2 van de syllabus voor het NINA-programma van het College voor Examens (2010). Toonaangevend was en is nog steeds de 'taxonomie van Bloom'. Naast een cognitieve taxonomie (B.S. Bloom et al. (1956). *Taxonomy of Educational Objectives. Handbook 1: Cognitive Domain*. New York: Longman), is er ook een affectieve taxonomie gepubliceerd, maar die heeft veel minder invloed gehad. De tegenwoordige nadruk op competenties integreert beide aandachtsgebieden, tezamen met een nadruk op attitudevorming.

- 4.00 *Analyse*
 - 4.10 analyse van elementen
 - 4.20 analyse van verbanden
 - 4.30 analyse van organisatieprincipes
- 5.00 *Synthese*
 - 5.10 het maken van een unieke communicatie
 - 5.20 het maken van een plan
 - 5.30 afleiden van een verzameling abstracte relaties
- 6.00 *Evaluatie*
 - 6.10 oordelen in termen van interne evidentie
 - 6.20 oordelen in termen van externe criteria

Aan deze taxonomie liggen enkele veronderstellingen ten grondslag, die weliswaar grotendeels in de praktijk getoetst zijn, maar waarop toch nog veel kritiek mogelijk is. Deze veronderstellingen zijn:

- 1 Hiërarchische structuur – Een hoger geclassificeerd proces is ingewikkelder dan een lager geclassificeerd proces. Dit impliceert dat een ingewikkelder handeling grotendeels kan worden ontrafeld in eenvoudiger deelhandelingen.
- 2 Cumulatieve structuur – Een hoger geclassificeerd proces omvat lagere processen.
- 3 Onafhankelijkheid proces-inhoud – De omschreven processen zijn op te vatten als een soort operatoren, die op meerdere vakinhouden kunnen werken.

Deze taxonomie heeft ook de discussie in natuurkundeonderwijsland vele jaren meer of minder expliciet beheerst. De taxonomie was onder andere ontstaan door analyse van vele onderwijsdoelstellingen en was dus vooral descriptief van karakter. Maar, zoals zo vaak, het gevolg is, desondanks, dat vanaf het moment dat publicatie heeft plaatsgevonden, hetzelfde instrument vervolgens prescriptief gebruikt gaat worden. En dat kon omdat daarmee een taalsysteem beschikbaar was gekomen dat de altijd al aanwezige discussie over ‘het gewenste niveau’ kon concretiseren. Zoals gezegd, tot op de dag van vandaag gaat deze discussie voort (zie figuur 61), vooral ten aanzien van onze examens, waarbij de cruciale vraag steeds is hoeveel procent van het examen gericht moet/mag zijn op reproductie en hoeveel op productie. Overigens wijst deze vraag direct op een belangrijk gebrek in de taxonomie, waarop ook veelvuldig is gewezen. Immers, of een bepaald doel geclassificeerd kan worden als vragend om productie dan wel reproductie van kennis en vaardigheden, hangt af van het voorafgaande onderwijs. Om nogmaals mijn HBS-leraar te misbruiken, het feit dat hij er in slaagde om van te voren bijna twee examenopgaven te ‘raden’ en te behandelen in de klas, betekende dat deze opgaven voor mij en mijn medeleerlingen grotendeels een beroep deden op reproductie in plaats van de door de examenmakers waarschijnlijk bedoelde productie. En is deze ‘reductie van productie’ in feite ook niet het kenmerk van alle examentrainingen, evenals van veel ervaren docenten met goede examenresultaten?

7.2.4 Geprogrammeerde Instructie

Naast de aandacht voor het formuleren, classificeren en toetsen van doelstellingen als

3.1.1 Beheersingsniveaus

Iedere specificatie geeft een indicatie van het beheersingsniveau dat van de kandidaat wordt verwacht. Er wordt hierbij onderscheid gemaakt tussen vier niveaus (naar Bloom). De vier niveaus zijn zo opgebouwd dat beheersing op een bepaald niveau alle onderliggende niveaus veronderstelt.

Omschrijving van de niveaus:

1. Beheersing op het eerste niveau houdt in dat de kandidaat de leerstof kan reproduceren, variërend van specifieke feiten tot complete theorieën.

2. Beheersing op het tweede niveau betekent dat de kandidaat de leerstof die hij op niveau 1 kan reproduceren, ook begrijpt. Onder begrijpen wordt verstaan: inzicht hebben op het laagste niveau.

De kandidaat kan dit laten zien door materiaal te vertalen van de ene vorm in de andere (bijvoorbeeld: woorden in cijfers omzetten door een formule in te vullen; een theorie in eigen woorden uitleggen), door het geleerde te interpreteren (uitleggen of samenvatten) of door het te gebruiken in analoge situaties.

3. Beheersing op het derde niveau houdt in dat geleerde en begrepen leerstof gebruikt kan worden in nieuwe en concrete situaties, zonder dat gezegd wordt welke regels, principes, formules, stellingen gebruikt moeten worden: de kandidaat moet zelf het geschikte principe of de juiste regel kunnen vinden en in een nieuwe situatie kunnen toepassen. Het gaat in het algemeen wel om opdrachten, waarvoor een vaststaand oplossingspad bestaat.

4. Beheersing op het vierde niveau houdt in dat de kandidaat de leerstof die hij kent, begrijpt en kan gebruiken langs een vaststaand oplossingspad, ook kan gebruiken om problemen op te lossen, waarvoor het oplossingspad niet evident of vaststaand is. Beheersing op het vierde niveau betekent dus dat de kandidaat een eigen strategie moet uitzetten.

Voor dit beheersingsniveau worden drie subniveaus onderscheiden:

a. Het oplossen van een gesteld probleem door het te analyseren: de inhoud zodanig ontleden in de samenstellende delen dat de onderlinge afhankelijkheid van denkbeelden duidelijk wordt gemaakt.

b. Het oplossen van het gestelde probleem door na de probleemanalyse te synthetiseren: de delen en elementen samenvoegen tot een geheel, door het arrangeren en combineren van elementen zodanig dat een patroon of structuur ontstaat die tevoren niet duidelijk herkenbaar was.

c. Het oplossen van een gesteld probleem door middel van evaluatie: het gaat om het toetsen van feiten, gegevens en oplossingen aan de hand van bepaalde criteria (stelling, onderzoeksrapport, ontwerp). Men moet hiervoor ver boven de stof staan en uiteenlopende oplossingen kunnen beoordelen op hun waarde.

Figuur 61. Uit de werkversie 2 van de syllabus voor het NINA-programma van het College voor Examens (2010).

middel tot onderwijsverbetering, werden er, vanuit een hoofdzakelijk behavioristische optiek, ook nieuwe vormen van onderwijs ontwikkeld. Het prototype daarvan is bekend geworden onder de term 'geprogrammeerde instructie'. Deze, door de behaviorist Skinner, bekend van zijn fenomenale leerresultaten met duiven en ratten, gepropageerde instructievorm, heeft de volgende kenmerken:

- Er is een constante uitwisseling tussen instructie en leerling; de leerling is voortdurend actief.
- De instructie eist dat ieder onderdeel van de leerstof begrepen is voordat de leerling verder gaat.
- De instructie presenteert niet meer dan de individuele leerling op het gegeven moment kan verwerken.

- De instructie geeft de leerlingen steun bij het vinden van goede antwoorden door een juiste inrichting van de stof of door specifieke hulp.
- De instructie geeft de leerling onmiddellijke bevestiging als zijn antwoorden goed zijn en houdt zo de belangstelling van de leerling levendig.

ITEM	ANTWOORD
<p>2. Als het handvat van een koffer breekt, maak je dan een nieuw handvat a) van dun staaldraad, of b) van een stuk breed band. Schrijf je antwoord op.</p>	<p>a) van dun staaldraad, dat wordt een pijnlijke ervaring. b) van breed band, dit is goed.</p>
<p>4. Een schoenzool van een man die op het strand staat, maakt een indruk in het zand. Als deze man nu een kind op zijn schouders neemt, wat gebeurt er dan met het gewicht dat op zijn schoenzolen rust? Kies uit de volgende antwoorden het goede en schrijf het nummer en de letter op: a) het gewicht blijft gelijk. b) het gewicht wordt groter.</p>	<p>a) Fout. Het gewicht van het kind telt ook mee. b) Goed</p>
<p>5. Zal de indruk van de schoenen van de man met het kind op zijn schouders nu dieper worden of gelijk blijven? Kies uit de volgende antwoorden het goede en schrijf het nummer en de letter op. a) de indruk zal gelijk blijven. b) de indruk zal dieper worden.</p>	<p>a) Fout. Het gewicht op de schoenzolen is toegenomen. b) Goed. Het gewicht op de schoenzolen is toegenomen.</p>
<p>6. Een man met een kind op zijn schouders veroorzaakt een diepere schoenindruk in het zand dan de man alleen, want het ... Schrijf de ontbrekende woorden op.</p>	<p>De ontbrekende woorden zijn: Gewicht op eenzelfde oppervlak is toegenomen.</p>
<p>7. We hebben nu gevonden, dat de indruk in het zand dieper wordt, als het <i>gewicht</i> op een zelfde oppervlak <i>toeneemt</i>.</p>	
<p>8. Een jongen staat met beide voeten op het strand. Hij trekt één been op. Verandert nu de voetindruk in het zand? a) Nee, de indruk blijft even diep. b) Ja, de indruk wordt dieper. c) Ja, de indruk wordt minder diep.</p>	<p>a) Fout b) Goed. Verder met 10. c) Fout</p>
<p>9. Wat gebeurt er met de grootte van het aanrakingsoppervlak als hij één been optrekt? a) Dit aanrakingsoppervlak blijft gelijk. b) Dit aanrakingsoppervlak wordt kleiner.</p>	<p>a) Fout: het aanrakingsoppervlak wordt gehalveerd. Verder met 8. b) Goed: het aanrakingsoppervlak wordt gehalveerd. Verder met 8.</p>
<p>10. We hebben nu gevonden dat de <i>grootte</i> van het <i>aanrakingsoppervlak</i> en het <i>gewicht</i> op dat oppervlak de indruk in het strand bepalen.</p>	

Figuur 62 >

11. De indruk die schoenzolen in het strand achterlaten, wordt bepaald door de grootte van het ... en het ... Schrijf de ontbrekende woorden op.	De ontbrekende woorden zijn aanrakingsoppervlak en gewicht.
12. Als het gewicht toeneemt op een zelfde oppervlak, zal de diepte van de indruk in een zachte bodem: a) toenemen, b) gelijk blijven.	a) Goed b) Fout
13. Op een drassige bodem staan twee gewichten, A en B, die even zwaar zijn. A heeft een kleiner aanrakingsoppervlak dan B. Welk gewicht zakt het diepst in de bodem? a) A, want A heeft een kleiner aanrakingsoppervlak dan B. b) Even diep, want ze wegen even zwaar.	a) Goed, een kleiner aanrakingsoppervlak doet de diepte van de indruk toenemen. b) Fout, het kleinste aanrakingsoppervlak geeft bij gelijkblijvend gewicht de diepste indruk Terug naar 8.
14. Als het aanrakingsoppervlak afneemt en het gewicht dat op dit oppervlak rust, toeneemt, dan zal de indruk in een drassige bodem: a) dieper worden; b) gelijk blijven.	a) Goed, als het gewicht toeneemt, wordt de indruk dieper; zo ook als het aanrakingsoppervlak afneemt b) Fout. Terug naar 12.
15. Uit het voorgaande is gebleken dat de diepte van indrukken in de grond afhangt van de grootte van het gewicht en van het aanrakingsoppervlak. We zullen daarom het gewicht <i>gelijkmatig</i> over het oppervlak <i>verdelen</i> . Het gewicht drukken we uit in gramkracht (gf) of kilogramkracht (kgf), het oppervlak in cm ² .	
16. Als er op een oppervlak van 8 cm ² een gewicht rust van 40 gf en we verdelen het gelijkmatig over dit oppervlak, dan werkt er per cm ² een gewicht van: a) 40/8 = 5 gf; b) 8/40 = 1/5 gf.	a) Goed, op elke cm ² 1/8 * 40 = 5 gf. b) Fout, als er 40 gf op 8 cm ² werkt, dan werkt er op elke cm ² 1/8 * 40 = 5 gf.

Figuur 62. Een geselecteerd fragment uit 'De Druk', een geprogrammeerde instructie. Een item bevond zich op de ene bladzijde, het antwoord daarop, tezamen met het volgende item op een volgende bladzijde, zodat 'afkijken' niet mogelijk was.

Op grond hiervan is veel geprogrammeerd instructiemateriaal ontworpen, ook voor natuurkunde (zie figuur 62) waarin de individuele leerling, volgens een gestructureerde opbouw in zo klein mogelijke stappen, actief betrokken wordt bij het beantwoorden of oplossen van vragen en problemen, met onmiddellijke versterking van de goede antwoorden en directe gerichte feedback op de verkeerde antwoorden¹⁵⁵. Ook al is het nu misschien moeilijk ons dat voor te stellen, toch zijn er volgens het patroon van geprogrammeerde instructie ook hele leerboeken geschreven. In ons land concludeerde een daarvoor speciaal in het leven geroepen werkgroep echter dat het niet gewenst is de hele natuurkunde door middel van geprogrammeerde instructie aan te bieden, maar dat een aantal onderwerpen zich daarvoor wel leent (waaronder de druk). Deze werkgroep vond het wel een goede zaak dat leerlingen op deze manier individueel

¹⁵⁵ Th. Hey (1977). De Druk. Geprogrammeerd instructie Natuurkunde. In: *Didactiek van de Natuurkunde, een verzameling artikelen*. Utrecht: Vakgroep Natuurkunde Didactiek.

bezig konden zijn, met name om met behulp van deze werkvorm de nodige feitenkennis ‘in te scherpen’.

Aanvankelijk heeft deze vorm van geprogrammeerde instructie in ons land geen hoge vlucht genomen, maar dat veranderde met het beschikbaar komen van de computer in het onderwijs. Mede door de in de begintijd nog beperkte mogelijkheden van dat apparaat, werd het computergebruik toen sterk bepaald door vele ‘drill-and-practice’ programma’s, in feite neerkomend op eenvoudige computergestuurde geprogrammeerde instructie, waarmee leerlingen individueel naar hartenlust kennis en eenvoudige vaardigheden konden inslijpen.

7.2.5 Mastery Learning, PSI’s en ‘Time on task’

7.2.5.1 Individuele Studiesystemen (PSI’s)

Het is deze mogelijkheid tot individualiteit, ofwel tot differentiatie, die in de jaren zestig en zeventig van de vorige eeuw tot nieuwe benaderingen heeft geleid. Deze zijn bekend geworden onder diverse benamingen, waaronder ‘Personalized System of Instruction’ (PSI), maar in ons land veelal onder de term ‘individuele studiesystemen’ en vooral uitgewerkt voor universitair onderwijs, als mogelijke oplossing voor de toen plaatsvindende ‘massificering’ van colleges¹⁵⁶. Zij zijn gebaseerd op het principe van ‘mastery learning’, ofwel ‘beheersingsleren’, dat zoals we straks nog zullen zien ook in ons secundair natuurkundeonderwijs een grote rol heeft gespeeld. Beheersingsleren gaat uit van het idee dat het grootste deel van de studenten datgene kan leren wat hun wordt onderwezen, mits zij er genoeg tijd aan besteden en die tijd ook beschikbaar hebben. Ofwel, het niveau van beheersing zal hoger zijn naarmate de feitelijk aan een leertaak bestede tijd, de ‘time-on-task’, de voor volledige beheersing benodigde tijd nadert¹⁵⁷. Om dit principe in praktijk te brengen in individuele studiesystemen, werden deze volgens een bepaalde onderwijsstrategie ontworpen, ruwweg bestaande uit een aantal kenmerken, die ik nu in grote lijnen zal weergeven.

1 Verdeling van de leerstof in studietaken – De totale geplande leerstof wordt opgedeeld in ongeveer gelijke delen, die niet te groot en ook niet te klein mogen zijn. Vervolgens worden deze taken geordend, veelal lineair-hiërarchisch, maar ook kunnen er keuzemogelijkheden worden ingebouwd.

2 Zelfstandig te gebruiken studiemateriaal – De student moet zelfstandig over al het benodigde studiemateriaal (dat nog van allerlei aard kan zijn) kunnen beschikken. Essentieel is dat de student over een goede studiehandleiding beschikt. Het schrijven daarvan is één van de belangrijkste taken van de docent. In deze handleiding wordt, behalve uiteraard een beschrijving van de totale werkwijze, de inhoud van iedere studietaak nauwkeurig omschreven. Naast de doelstellingen voor de gehele cursus, worden de doelstellingen per studietaak zo duidelijk en operationeel mogelijk, meestal in de vorm van gedragskenmerken, geformuleerd. Verder wordt per studietaak een stu-

¹⁵⁶ P.L. Lijnse (1975). Individuele Studiesystemen in universitair natuurkundeonderwijs. *Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde*, 41.

¹⁵⁷ Deze ‘time on task’ blijkt trouwens in vele onderzoeken vaak de belangrijkste regelbare factor te zijn.

die procedure aanbevelen, er worden studievragen aangeboden ter verwerking van de leerstof, en een aantal toetsvragen om de student de mogelijkheid te geven zichzelf te toetsen.

3 Mastery learning en terugkoppeling – Als een student, naar zijn idee, een bepaalde studietaak voldoende beheerst, kan hij een toets afleggen. Deze toetsen zijn, in principe, zo geconstrueerd dat beheersing van alle voor de studietaak geformuleerde doelstellingen formatief wordt getoetst. Onmiddellijk daarna kan hij de toets laten scoren en krijgt hij terugkoppeling op zijn toetsresultaten. Alleen als hij aan het, vooraf voor de toets vastgestelde, criterium voldoet, mag hij verder gaan met de volgende studietaak. Als hij niet voldoet aan de mastery-eis, die meestal op 90-100% beheersing ligt, moet hij met de gekregen aanwijzingen dezelfde studietaak nogmaals bestuderen. En zo nodig herhaalt dit zich een aantal keren, net zolang tot de student het gevraagde volledig beheerst.

4 Individualisering naar tempo en tijd – Uit bovenstaande volgt al dat elke student zijn eigen tempo kan bepalen, en dat zo'n systeem dus niet past in de normale collegepraktijk.

5 Administratie, begeleiding en automatisering – Zo'n systeem vraagt om een grotere administratieve inspanning. Vooral de toetsadministratie, in feite een student-volgsysteem, kan bij grote aantallen tijdrovend zijn. In Eindhoven werd daarom al in de beginjaren zeventig een volledig geautomatiseerd systeem ontworpen, terwijl de begeleiding veelal werd gedaan door studentassistenten.

6 Taak van de docent – De taak van de docent wijkt sterk af van normaal. Hij fungeert niet meer als informatieoverdrager, maar is veel meer begeleider van studenten en assistenten en bewaker van de goede voortgang en werking van het systeem. Hij moet de studiehandleiding samenstellen, de toetsen construeren, vragenuurtjes organiseren, soms nog enkele 'fun'-colleges geven ter motivatie van de studenten, etc. Kortom, zijn taakbesteding is zeker niet minder.

In de jaren zeventig waren er regelmatig publicaties over succesvolle implementaties van zulke individuele studiesystemen, voor allerlei onderwerpen. Ook nogal wat natuurkundecolleges werden hierdoor vervangen, waaronder zelfs voor geavanceerde onderwerpen als quantummechanica. De studenten waren er grotendeels enthousiast over, met name over de individualisering, de studieresultaten verbeterden soms aanzienlijk en ook de docenten waren tevreden over hun innovatieve onderwijs. In ons land werd er aan de universiteiten van Twente en Eindhoven aan gewerkt. En toch, na verloop van tijd stopten de publicaties hierover. Erger nog, aanvankelijk goed draaiende systemen werden na een aantal jaren toch weer gestopt. Waarom toch, kun je je dan afvragen. Bij mijn weten is hier geen onderzoek naar gedaan, maar het zou best te maken kunnen hebben met een bekend universitair fenomeen. Een universitair docent geeft een bepaald onderwerp maar voor een paar jaar. Dan wordt zijn onderwijs overgenomen door een nieuwe docent, die weer zijn eigen onderwijs wil maken. En de kans dat die zo'n onderwijskundige onderwijsvorm helemaal niet ziet zitten, zeker als het om fysici gaat, is vrij groot. Temeer ook omdat dan het enthousiasme van het begin inmiddels heeft plaatsgemaakt voor toch weer een nieuwe routine. Kortom, de enthousiaste pioniers worden vervangen door sceptische nieuwkomers, met als gevolg

dat het innovatieve studiesysteem wordt afgeschaft en er weer gewoon ‘goed onderwijs’ wordt gegeven, dat wil zeggen een hoorcollege met werkcollege. Een proces dat ik meermalen uit eigen en andermans ervaring heb leren kennen. Een vorm van een onder statistici welbekend proces dat bekend staat als ‘regressie naar het gemiddelde’!

Maar er valt nog iets op te merken. Als we de beschreven kenmerken van individuele studiesystemen nogmaals op ons in laten werken, en de term studiehandleiding vervangen door studiewijzer, dan zien we een verrassende overeenkomst met wat veel later gepropageerd werd voor de invoering van het studiehuis. En natuurlijk, in beide gevallen ging het om de invoering van maatregelen om leerlingen, c.q. studenten, zoveel mogelijk zelfstandig hun weg te laten vinden in het onderwijs, of althans een deel daarvan.

7.2.5.2 Differentiatie binnen klasseverband: DBK-na

Met de invoering van de Mammoetwet kwam er vanwege het nieuwe verschijnsel van brede en verlengde (of soms toch ook wat smallere en korter durende) brugklassen steeds meer behoefte aan het kunnen differentiëren van het onderwijs in de klas, conform verschillen in mogelijkheden en belangstelling van de leerlingen, dit alles passend in de trend van opkomende leerlinggerichtheid. Met name voor wat betreft de zwakkere leerling. Bijzondere scholen, bijvoorbeeld volgens het Montessori-systeem, gingen heel ver in individualisering, maar voor de gewone school werd gezocht naar de mogelijkheid tot differentiatie binnen het leerstofjaarklassensysteem. Het beschreven ‘mastery learning’ principe leek daarvoor, zij het met de nodige aanpassingen, een technisch uitvoerbare en grootschalig implementeerbare mogelijkheid te bieden. Dit idee lag ten grondslag aan het onderzoeks- en ontwikkelproject ‘Differentiatie Binnen Klasseverband Natuurkunde’, waaraan vanaf 1974 aan de VU vele jaren, in samenwerking met een groot aantal docenten, is gewerkt. Later hebben deze docenten, verenigd in de gebruikersvereniging DBK-na, de lesmateriaalproductie nog lang zelfstandig, tezamen met educatieve uitgevers, voortgezet.

In het DBK-na project werd gekozen voor het BHE-model, wat staat voor basisstof, herhaalstof, extra stof. In het BHE-model wordt het onderwijs verdeeld in periodes, aangeduid met ‘blok’. Binnen een blok vindt de differentiatie plaats, waarbij alle leerlingen steeds tegelijk aan een nieuw blok beginnen. In principe kan de lengte van een blok variëren van 1 à 2 lesuren tot 15 à 20 lesuren. Bij DBK-na werd gekozen voor een blok lengte van 10 à 12 lessen¹⁵⁸.

Een blok begint met een basisperiode, waarin alle leerlingen werken aan dezelfde doelstellingen in een voor alle leerlingen zelfde volgorde. Daarna volgt een F-toets, dat wil zeggen een formatieve toets, op grond waarvan de leerlingen een differentiële periode ingaan. Tijdens deze periode wordt gedifferentieerd in:

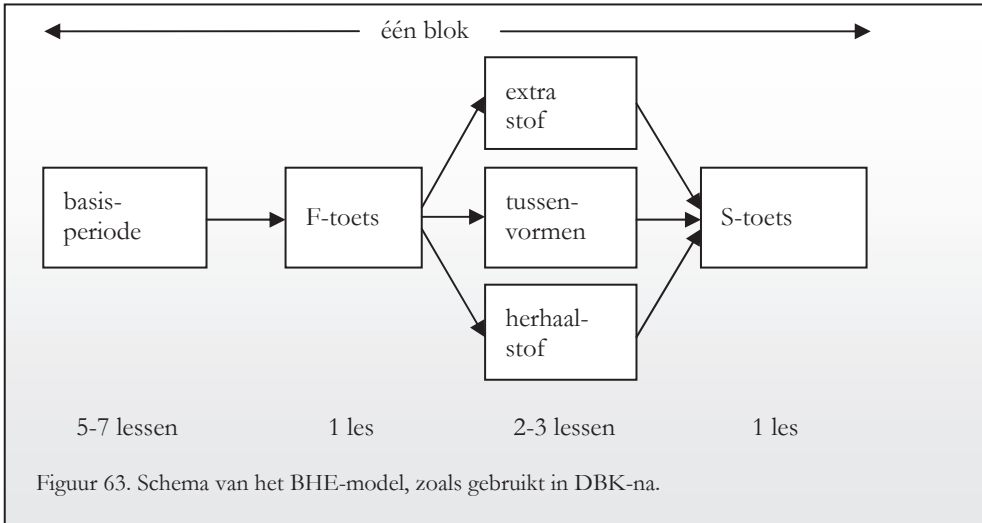
1 Toegestane leertijd – Sommige leerlingen kunnen de differentiële lessen gebruiken om meer tijd te besteden aan het bereiken van de doelstellingen van de basisstof door te werken aan de zogenaamde ‘herhaalbladen’.

¹⁵⁸ Deze beschrijving is grotendeels ontleend aan: T. Ellermeijer (1987). *Differentiatie binnen klasseverband voor natuurkunde in klas 2 van HAVO-VWO*. Amsterdam: VU.

2 Differentiële doelstellingen – Deze differentiatie is niet beperkt tot niveaudifferentiatie, maar ook een differentiatie naar belangstelling is mogelijk. Sommige leerlingen werken daartoe aan ‘verdiepingsstof’, terwijl anderen werken aan ‘verrijkingsstof’.

3 Instructiecondities – In de differentiële periode kunnen leerlingen ook op zeer verschillende wijze bezig zijn met het vak natuurkunde. Terwijl de één bezig is met een tekst door te lezen, voert de ander een experiment uit of is, in gesprek met medeleerlingen, bezig een bepaald probleem op te lossen.

Ten slotte wordt het hele blok afgesloten met een eindtoets, de S-toets, of summatieve toets.



In deze structuur en in de beschreven werkwijze herkennen we veel van wat hierboven beschreven is als kenmerken van mastery learning, ook al zijn er verschillen. Zo lag bij DBK-na het beheersingscriterium voor de basisstof slechts op ca. 70%, wat aanzienlijk lager is dan in het oorspronkelijke ideaal. Uit evaluatieonderzoek¹⁵⁸ bleek het project redelijk aan zijn uitgangspunten te kunnen voldoen. Door de ontwikkeling van het vele lesmateriaal gaf het natuurkundeleraars een hanteerbare mogelijkheid om met verschillen van leerlingen om te gaan. Het succes van het project lag vooral in het feit dat het gedragen werd door een aanzienlijk aantal docenten, dat niet alleen het lesmateriaal gebruikte, maar ook vaak zelf deelnam aan lesmateriaal- en toetsontwikkeling. Dit werd mede mogelijk gemaakt door het feit dat vakinhoudelijke vernieuwing slechts een beperkte rol speelde in het DBK-na project. Wat dat betreft lag het accent eigenlijk alleen op het consequente gebruik van practicum, wat, zoals eerder besproken, ook goed paste in de geest van die tijd.

Tot zover het eerste deel van dit hoofdstuk, waarin een aantal meer of minder behaviouristisch geïnspireerde onderwijsvernieuwingen de revue passeerde. Ook al doet een deel van deze zaken nu gedateerd aan, ze zijn zeker niet irrelevant geworden. Ten slotte zijn de behaviouristische basiswetten die ons gedrag bepalen, nog steeds het-

zelfde, ook al worden er nu daarnaast zoveel andere accenten gelegd dat ze bijna uit onze aandacht zijn verdwenen.

7.3 Niveaus van Piaget en science-onderwijs

7.3.1 Niveaus in cognitieve ontwikkeling?

Op de in hoofdstuk 2 genoemde Woodshole-conferentie vroeg de psycholoog Bruner (onder andere) aandacht voor ‘readiness for learning’. Ook poneerde hij zijn mening dat elk onderwerp op de één of andere manier effectief aan elk kind in elk ontwikkelingsstadium onderwezen kan worden. Een hypothese die op drie aspecten betrekking heeft: het proces van intellectuele ontwikkeling van kinderen, de ‘act of learning’ (in het bijzonder ‘the act of discovery’), en de notie van een ‘spiral curriculum’. Deze ideeën sluiten goed aan bij het uit de praktijk van iedere leraar bekende probleem van hoe een goede match te vinden tussen het ‘niveau van de leerling’ en het ‘niveau van de leerstof’. Maar, hoe doe je dat, behalve op grond van langjarige ervaring? Als criteria voor niveaus in leerstof noemt men veelal de mate van complexiteit of de mate van abstractie, terwijl het niveau van de leerling juist vaak wordt getypeerd aan de hand van het vermogen om complexe en/of abstracte leerstof te verwerken. Hoe juist deze kwalificeringen ook mogen zijn, ze brengen ons dus in feite geen stap verder met betrekking tot de vraag of en hoe we deze niveaus feitelijk kunnen operationaliseren. De niveautheorie van de Zwitser Piaget leek hiertoe echter wél een praktische mogelijkheid te bieden, ook al week die sterk af van Bruner’s opvatting. Bovendien was ze gebaseerd op een degelijke wetenschappelijke onderbouwing. Dit lijkt meer dan voldoende reden om in deze paragraaf aandacht te besteden aan dit werk van Piaget. Ook al krijgt zijn werk tegenwoordig nog maar weinig aandacht, het was in de tweede helft van de vorige eeuw zeer invloedrijk¹⁵⁹. En, historisch gezien, is het dat nog steeds, zoals blijkt uit het volgende citaat: “*Assessing the impact of Piaget on developmental psychology is like assessing the impact of Shakespeare on English literature or Aristotle on philosophy – impossible.*”¹⁶⁰ Deze invloed strekte zich toentertijd ook uit tot het internationale science-onderwijs. En dus ook tot ons land. Zo organiseerde de NVON in 1978 een zomercursus, speciaal voor natuurkundedocenten, die geheel gewijd was aan het ‘gedachtengoed’ van Piaget¹⁶¹. Het levenswerk van Piaget¹⁶² is gewijd aan een door observaties van (zijn) kinderen en vraaggesprekken met kinderen onderbouwde theorie over het

¹⁵⁹ In het ruim 1500 pagina’s tellende ‘Second International Handbook of Science Education’ (Eds.: B.J. Fraser, K.G. Tobin & C.J. McRobbie. Heidelberg: Springer, 2012) wordt nog maar zes keer gerefereerd aan het werk van Piaget, terwijl dat in de jaren zeventig in praktisch elk artikel dat verscheen het geval was.

¹⁶⁰ D.F. Bjorklund & C.H. Blasi (2012). *Child & Adolescent Development: An Integrated Approach*. Belmont: Wadsworth.

¹⁶¹ *Natuurkundeonderwijs en de ontwikkeling van het denken*. Dit was een vertaling en aanpassing van een cursus van de American Association of Physics Teachers uit 1975.

¹⁶² Voor deze paragraaf gaat mijn dank uit naar mijn vroegere collega Dirk van Genderen voor het vrijelijk kunnen putten uit een door hem geschreven, maar niet gepubliceerd manuscript: ‘Begripsmoeilijkheden en denkniveaus’ (1987).

ontstaan van menselijke kennis, waaraan hij de naam ‘*épistémologie génétique*’ heeft verbonden. *“During the early portion of his career, Piaget’s research focussed on the contents of the child’s thought. ‘The Child’s Conception of the World’ and ‘The Child’s Conception of Physical Causality’, both written in the 1920’s, paid particular attention to the child’s views of the physical world. The clinical method was used to obtain the child’s answers to such questions as, where do shadows come from, what causes rivers to flow, or the clouds to move? Despite these initial investigations, Piaget felt that the study of content was only a minor goal for the psychology of intelligence. While descriptions of content may have some interest, they do not get at the heart of the matter; they do not explain why thought takes the form it does. For Piaget, therefore, the primary goal of the psychology of intelligence is not the mere description of the content of thought but the basic processes underlying and determining the content. Piaget has therefore devoted the greater part of his career in psychology to the study of the structures and functions of intelligence.”*¹⁶³

Op deze denkstructuren wil ik nu iets verder ingaan, zij het niet op zijn zwaar aangevochten mathematische metatheorie. Dat betreft een poging om de samenhang in de operaties, behorend bij zijn cognitieve niveaus, te karakteriseren met behulp van onderliggende, puur abstracte, mathematische structuren. Overigens is het nogal ironisch om te moeten constateren, het zij nu reeds vermeld, dat bij de geleidelijk aan toenevende kritiek op de toepassing van Piaget’s werk, juist steeds meer werd teruggegrepen op het belang van de ‘vroege Piaget’. Ofwel, in plaats van de nu te beschrijven aandacht voor zijn structuren, kwam er, met dank aan zijn vroege werk, juist veel meer nadruk op het belang van de door hem verguisde inhoud. Volgens Piaget ontstaan kennis en intelligent gedrag door voortdurende interactie tussen het kind en zijn omgeving. Het kind voert handelingen uit op/met objecten in zijn omgeving en door internalisatie daarvan ontstaan ‘denkhandelingen’, of ‘opérations’ in termen van Piaget. Hij spreekt van operaties wanneer de tot voorstellingen geïnterioriseerde handelingen het aspect van omkeerbaarheid hebben verworven. Deze operaties worden steeds meer verbonden tot samenhangende denkstructuren, ‘structures opératoires’. Zulke structuren zijn niet aangeboren en kunnen ook niet van anderen worden overgenomen; ze worden door het individu zelf geconstrueerd. Vandaar dat de term ‘constructivisme’ onverbrekkelijk verbonden is aan Piaget. *“Rather than seeing children as shaped by their environments or destined by their genes, Piaget viewed children as playing an active role in shaping their own development. Children do not merely perceive reality, they construct it.”*¹⁶³ Deze cognitieve ontwikkeling vindt plaats door middel van twee basisprocessen: ‘adaptatie’ en ‘organisatie’. Adaptatie is de overkoepelende term voor twee complementaire processen, namelijk assimilatie en accommodatie. Hieruit blijkt wellicht dat Piaget in eerste instantie was opgeleid als bioloog. Met assimilatie wordt bedoeld dat nieuwe ervaringen worden ingepast in al bestaande structuren. Accommodatie houdt in dat nieuwe ervaringen leiden tot aanpassing van bestaande structuren. Deze adaptatie vindt plaats onder de organiserende invloed van een streven tot innerlijk evenwicht, ‘*equilibration*’, of zelfregulatie genoemd. Door het oplossen van een cognitief conflict wordt het evenwicht weer hersteld.

¹⁶³ H. Ginsburg & S. Opper (1969). *Piaget’s Theory of Intellectual Development: An Introduction*. New Jersey: Prentice Hall.

Het kernpunt in veel discussies is lange tijd geweest in hoeverre onderwijs vooruit kan grijpen op de cognitieve ontwikkeling en deze zelfs kan versnellen, of dat het moet wachten totdat de leerlingen cognitief 'klaar' zijn voor wat ze moet worden onderwezen.

Op grond van zijn onderzoeken onder voornamelijk Geneefse kinderen, kwam Piaget tot zijn niveautheorie van de cognitieve ontwikkeling. De eerste fase, de sensorische, omvat ruwweg de eerste twee levensjaren van een kind, waarin het leert waarnemingen en handelingen te coördineren. Daarna komt het eerste, het pre-operationele niveau, nog te onderscheiden in IA (van 2 tot 5 jaar) en IB (van 5 tot 7 jaar). De term pre-operationeel geeft aan dat het kind in stadium I nog geen echte logische operaties uitvoert. Daarna volgt het concreet operationele stadium, c.q. niveau, te onderscheiden in IIA (van 7 tot 9 jaar) en IIB (van 9 tot 12 jaar). Ten slotte is er het formeel operationele stadium, c. q. niveau, te onderscheiden in IIIA (van 12 tot 14 jaar) en IIIB (vanaf 14 jaar). Deze leeftijden zijn overigens maar een heel globale indicatie en onderhevig aan een grote spreiding.

Een globale karakteristiek van de concreet operationele en de formeel operationele stadia is als volgt.

In het concreet operationele stadium verwerft het kind weliswaar verschillende nieuwe denkstructuren, maar deze blijven beperkt tot concrete ervaringen en zijn nog niet gericht op abstracte zaken. Uiteindelijk kan het, met betrekking tot concrete zaken, begrippen classificeren en ordenen en alle fundamentele operaties van de elementaire logica van klassen en relaties uitvoeren. Een belangrijke aanwijzing voor het bereiken van het concreet operationele stadium is, in de ogen van Piaget, het achtereenvolgens kunnen conserveren van de begrippen aantal, hoeveelheid stof, gewicht en volume, dat wil zeggen dat het kind, in concrete situaties, ziet dat je wel allerlei fysische handelingen (zoals delen, samenvoegen, transformeren) kunt uitvoeren waarin deze grootheden lijken te veranderen, maar dat dit, vanwege de reversibiliteit van de handelingen, in wezen niet het geval is. Een bekend door Piaget beschreven voorbeeld is hoe kinderen zich het oplossen van suiker in water voorstellen. Kleuters menen dat de suiker daarbij ophoudt te bestaan, maar 7 à 8 jarigen vinden dat de suiker in het water als stof blijft voortbestaan. Pas later, in het 9-10^e jaar, wordt ingezien dat daarbij ook het gewicht van de suiker behouden blijft en nog iets later meent het kind dat dit ook voor het volume geldt. Dit drievoudige behoud (stof, gewicht en volume) wordt door het kind verklaard door de hypothese dat de suiker zich in onzichtbaar kleine korreltjes verdeelt (projectie van een handeling die het kind ook zelf op de suiker zou kunnen verrichten) en dat deze korreltjes samen weer de oorspronkelijke hoeveelheid suiker vertegenwoordigen (omkeerbaarheid van de operatie, dat wil zeggen van de handeling in gedachten).

De formeel operationele fase kenmerkt zich daarentegen door de mogelijkheid tot abstract redeneren, met name vanuit hypothesen. Ofwel, formele operaties zijn niet langer gebonden aan bestaande objecten. Het kind kan dan logisch redeneren, ook als het uitgangspunt van de redenering onzeker of zelfs onjuist is. Eén van de nieuwe mogelijkheden op dit niveau is het kunnen uitvoeren van operaties op operaties, wat inhoudt dat het kind zich op eigen gedachten kan bezinnen, en zich als het ware als




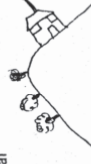



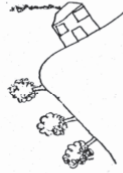










toeschouwer en bestuurder van het eigen gedrag kan opstellen. Hierdoor wordt een veel planmatiger en kritischer aanpak van problemen mogelijk. Het bereiken van dit niveau gaat samen met het kunnen hanteren van een aantal denkpatronen, zoals: kunnen controleren van variabelen, kunnen denken in verhoudingen en evenredigheden, combinatorisch denken, etc. (zie verder)¹⁶⁴.

Volgens Piaget doorloopt elk kind deze fasen in dezelfde volgorde, je kunt er geen overslaan. Maar er is wel een grote spreiding in de leeftijden waarop dit gebeurt. Ook is het zo dat je niet voor alle inhouden of taken op hetzelfde niveau functioneert. Dit kan sterk afhangen van de voorafgaande ervaring. Het is dus alsof je ontwikkelingsniveau vooral je niveau van *maximaal* functioneren weergeeft, terwijl het *actuele* niveau van functioneren in feitelijke situaties daarvan sterk kan afwijken. Tot zover een beknopte beschrijving van de belangrijkste ideeën van Piaget, voor zover zij vakdidactische impact hebben gehad.

Alvorens ik daar inhoudelijk in meer detail op inga, wil ik eerst één klein voorbeeld geven van vakdidactische relevantie. In hoofdstuk 1 heb ik geciteerd uit het voorwoord van 'Natuurkunde op corpusculaire grondslag', waarin werd gepropageerd om, vanaf het begin, in het natuurkundeonderwijs gebruik te maken van een corpusculaire voorstelling. Het gaat dan in feite om hypothetische deeltjes, met een beperkt aantal eigenschappen, die, als collectief, het macroscopisch gedrag der materie moeten verklaren. Zo'n deeltjesmodel begrijpen en gebruiken vraagt duidelijk om een formeel denkniveau. Een leerling die deze formele denkstructuur nog niet heeft gevormd, kan zo'n deeltjesvoorstelling dus niet anders opvatten dan concreet, hetgeen inhoudt dat een deeltje van een stof in feite hetzelfde is als een 'klein stukje stof' met alle eigenschappen van die stof. Ofwel, een vloeibaar watermolecuul, een geel zwavelatoom, een stilstaand vaste stofdeeltje, etc. Het komt er op neer dat de concreet denkende leerling de term 'deeltje' opvat als 'deel van' en ook niet anders kan opvatten dan met gebruik van deze concreet-operationele inclusierelatie. Maar het is zeer de vraag of de auteurs van de genoemde methode dat in gedachten hadden bij hun pleidooi voor een vroegtijdige invoering van een corpusculaire voorstelling.¹⁶⁵ Of was het zo dat alle vroegere 14-jarige HBS- of Gymnasiumleerlingen het formeel-operationele niveau al hadden bereikt? Hoe dit ook precies zij, het voorbeeld illustreert wel duidelijk het eerder genoemde matchingsprobleem.

¹⁶⁴ Deze voorbeelden van concreet en formeel denken maken begrijpelijk dat juist exacte vakdidactici zich aangetrokken voelden tot mogelijke toepassingen van deze theorie. Critici hebben dan ook wel betoogd dat Piaget zich niet zozeer heeft beziggehouden met de algemene cognitieve ontwikkeling van kinderen, maar veelmeer met de ontwikkeling van het exacte denken.

¹⁶⁵ In het proefschrift 'Corpusculum delicti', over micro-macrodelen in de chemie, van de helaas veel te vroeg overleden chemiedidacticus Wobbe de Vos, wordt deze Piagetaanse verklaring van problemen met het deeltjesdenken van leerlingen verder uitgewerkt. Hij concludeert bijvoorbeeld: "*Vanuit de theorie van Piaget gezien is kenmerkend voor het nog concreet-operationele denken van deze leerlingen dat zij hun corpusculaire voorstellingen dikwijls niet een hypothetisch karakter geven, maar dat ze deze voorstellingen baseren op aanvaarde zekerheden uit de hen omringende macroscopische wereld. Daarbij worden in het concreet-operationele denken deze zekerheden niet zelf ter discussie gesteld; dat zou hun functioneren als uitgangspunt van een redenering aantasten.*"

Developmental Level (Piaget)	Score	1 Jam Jar and Water	2 Mountain, House and Trees	3 Plumb Line	4 Road with Trees
Preconceptual	0	Water's presence shown by scribble, no surface 	Trees and House not related to mountain 		
Intuitive or Pre-operational 1	1	Surface on water but parallel to base of container, even if tilted 	Trees and house at right angles to the mountain even where the surface is not horizontal 	Line stays nearly parallel to sides 	No attempt at perspective, trees at right angle to edge 
Early Concrete 2A (Intermediate)	2 (3)	Surface beginning to move towards lip as jar is tilted, but not consistently horizontal 	Some objects related to vertical as well as to mountain surface. Try asking about smoke from chimney (windless) 	On questioning they will always say line is vertical, but will still tend to draw it parallel to sides 	Trees start to be drawn upright but no perspective 
Late Concrete 2B	4	Finding result by trial and error. Maybe one mistake but will rectify this on questioning 	Maybe an error or two. On questioning will always alter correctly 	As jam jar 	Trees drawn upright and they begin to bring far end of road bending together 
Late Concrete 2B or above 2B+	4,5,6	All right. Pupil appears to know before any trial 	All right 	All right 	Score 6 Full perspective Even inclination of edges into distance. Trees graded in size 

Figuur 64. Het scoringsformulier van de SRT over 'Spatial Relationships'.

7.3.2 Het CSMS project

7.3.2.1 SRT's en CAT's

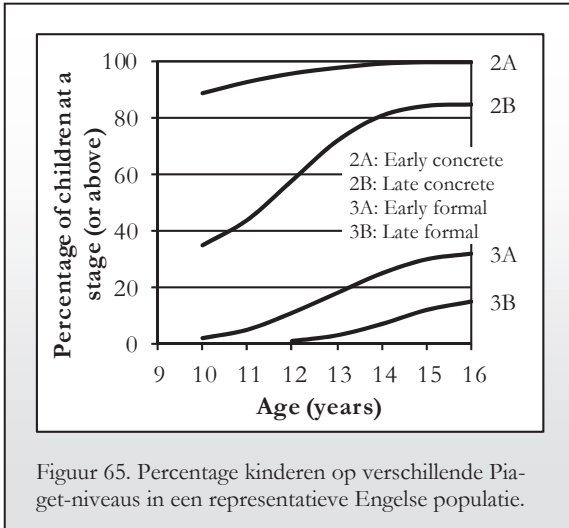
Omdat hierin in feite de belangrijkste poging tot vakdidactische toepassing van Piaget is gelegen, wil ik dit matchingsprobleem verder bespreken aan de hand van de science-resultaten van het CSMS-project. Deze afkorting staat voor 'Concepts in Secondary Mathematics and Science'¹⁶⁶. Het CSMS was een behoorlijk grootschalig project, met als doelen:

- *Some fundamental work to validate the Piagetian model.*
- *A large scale survey of middle and secondary school pupils to establish typical levels of thinking skills.*
- *The development of a method for assessing the level of demand made on pupils by science curriculum activities.*

Om aan deze doelen te kunnen voldoen moesten er instrumenten ontwikkeld worden die geschikt zijn om a) het ontwikkelingsniveau te meten van de door leerlingen gebruikte denkschema's, en b) het niveau van cognitieve complexiteit van curriculummateriaal te kunnen bepalen. Voor het eerste werden 'Science Reasoning Tasks' ontworpen (SRT's), voor het tweede een 'Curriculum Analysis Taxonomy' (CAT), die ik nu achtereenvolgens kort zal beschrijven. De SRT's zijn qua inhoud zo direct mogelijk gebaseerd op de onderwerpen die Piaget in zijn klinische interviews met kinderen aan de orde stelde en waarmee hij zijn theorie onderbouwde. Op grond hiervan zijn schriftelijke taken ontworpen die klassikaal werden afgenomen, onder leiding van de docent,

aan de hand van een door hem uitgevoerd experiment. Figuur 64 geeft een voorbeeld van een dergelijke taak. Op deze manier zijn zo'n 14000 leerlingen in de leeftijd van 9 tot 16 jaar geïnterviewd en geclassificeerd naar hun cognitief niveau.

Figuur 65 geeft het resultaat van dit grootschalig gebruik van SRT's. Hieruit komt een aantal interessante zaken naar voren. De eerste is dat de gemiddelde leeftijden waarop de respectievelijke niveaus worden bereikt duidelijk hoger liggen dan oorspronkelijk door Piaget vermeld.

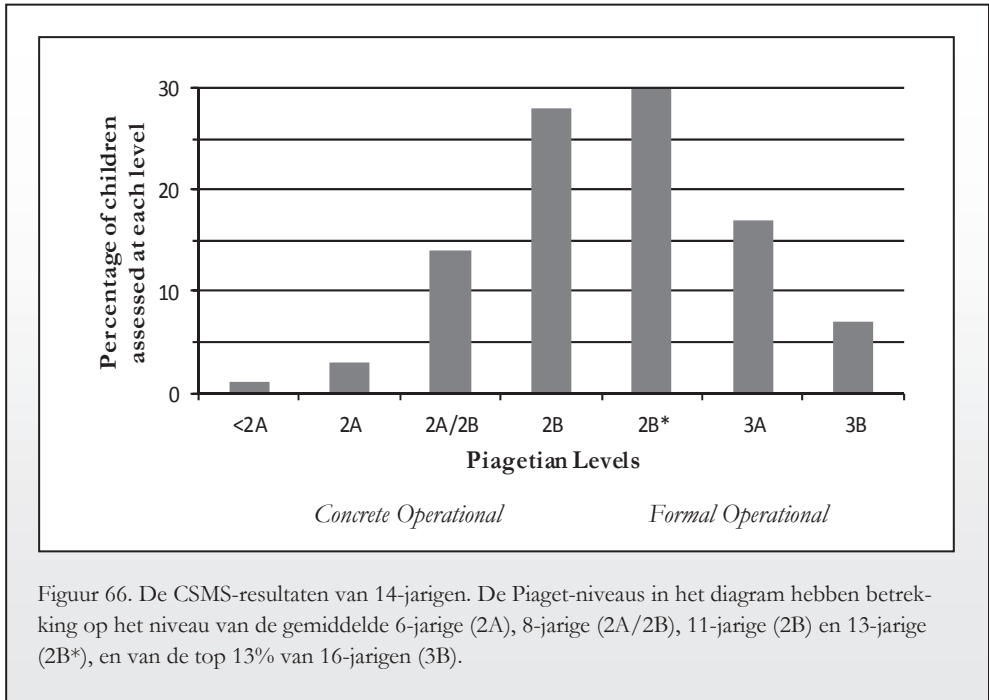


Figuur 65. Percentage kinderen op verschillende Piaget-niveaus in een representatieve Engelse populatie.

Zo hebben nog maar ca. 30% van de negenjarigen (de door Piaget genoemde leeftijd) het concreet operationele niveau bereikt en nog maar 20% van de veertienjarigen het vroeg formele niveau. Het tweede belangrijke resultaat is dat het bereiken van de for-

¹⁶⁶ Waarover Michael Shayer en Philip Adey onder de pretentieuze titel 'Towards a Science of Science Teaching' uitvoerig hebben gerapporteerd. Londen: Heinemann, 1981.

mele niveaus afvlakt en een plateau lijkt te bereiken, wat, na extrapolatie, in zou houden dat slechts 30% van alle volwassenen in staat moet worden geacht om theoretische modellen te kunnen gebruiken. Dit in afwijking van Piaget's mening dat iedere volwassene uiteindelijk het formele niveau kan bereiken¹⁶⁷.



Een andere manier om naar deze uitkomst te kijken is weergegeven in figuur 66. Daar-in zien we voor de leeftijd van 14 jaar de verdeling over de verschillende niveaus. Op zich is dit niet verrassend, in feite past deze niveauverdeling precies, zoals het hoort, binnen een normale IQ-verdeling. Het verschil is echter dat het IQ niet meer dan een getal is, terwijl we bij deze niveaus veel meer weten over wat ze voorstellen. En dus ook veel meer over wat de consequenties zijn voor het onderwijs¹⁶⁸. Dat zien we als

¹⁶⁷ Het is interessant om hierover even verder na te denken. Als dit CSMS-resultaat juist is, dan zet het grote vraagtekens bij de wens van het zogenoemde 'Lissabon-akkoord' van eind vorige eeuw, waarin werd afgesproken dat rond 2010 de helft van onze bevolking 'hoogopgeleid' moet zijn. Zou de huidige commotie over het niveau van veel HBO-opleidingen, en zelfs van universitaire opleidingen, hier niet zijn diepere oorzaak in kunnen vinden? Immers, als je studenten het gewenste cognitieve niveau niet hebben, en je moet wel de aantallen halen, rest er niets anders dan het niveau te laten zakken. En dat is precies wat er is gebeurd!

¹⁶⁸ Deze grote spreiding over vele niveaus doet de vraag rijzen in hoeverre in een middenschool alle leerlingen cognitief tot hun recht kunnen komen. Ook de twee niveaus in de vroegere basisvorming konden niet passend zijn voor alle leerlingen. Het is dan ook waarschijnlijk niet toevallig dat in de argumenten voor zo'n middenschool juist zoveel aandacht gevraagd wordt voor het belang van niet-cognitieve leereffecten. Zie hiervoor bijvoorbeeld het proefschrift van R. Genseberger (1997). *Interessegeoriënteerd natuur- en scheikunde onderwijs*. Utrecht: CD-β Press.

we verder ingaan op de curriculumanalyse, zoals uitgevoerd door het CSMS-project¹⁶⁹. Laten we daarvoor preciezer kijken naar enkele inhoudelijke aspecten. Om te beginnen met een preciezere omschrijving van formeel operationeel denken. Hiervoor gebruikt het CSMS-project, in directe navolging van Piaget, de in figuur 67 weergegeven ‘reasoning patterns’.

Een principieel punt betreft de vraag of we werkelijk van formeel operationeel denken kunnen spreken. Operationeel zou dat betekenen dat het in figuur 67 niet gaat om tien

denkpatronen die ieder voor zich een eigen ontwikkeling doormaken, zoals door velen werd (en wordt) gedacht, maar dat het gaat om een eenheid, die zich in samenhang ontwikkelt. Op grond van een statistische factoranalyse komen de CSMS-mensen tot de volgende conclusie: “*The critics have been shown wrong by their own psychometric methods. Formal operational thinking is a one-factor construct and the different schemas are not merely specific skills but are manifestations of an underlying integrated structure of thought.*”

Control of variables (investigation of many-variable problems)

Exclusion of irrelevant variables

Combinatorial thinking

Notions of probability

Notions of correlation

Coordination of frames of reference

Multiplicative compensation

Equilibrium of physical systems

Proportional thinking

Physical conservations involving ‘models’

Figuur 67. De gegroepeerde formeel-operationele ‘reasoning patterns’.

Deze patronen laten zien dat de kritiek op Piaget dat hij weinig oog had voor zaken als inventiviteit en creativiteit niet onterecht is, maar tegelijk ook dat zijn aanpak bij uitstek relevant lijkt voor toepassing in natuurwetenschappelijk onderwijs. Het CSMS-project heeft dit, zoals gezegd, uitgewerkt in een ‘curriculum analysis taxonomy’, waarmee leraren in staat zouden moeten zijn om door hun nagestreefde doelen en onderwijsuitvoering te analyseren op, anders te vaak impliciet blijvend, verondersteld noodzakelijk cognitief niveau. In deze taxonomie wordt beschreven hoe kinderen op de respectievelijke Piagetniveaus vijftien relevante aspecten kunnen hanteren en interpreteren (bijvoorbeeld: ‘interest and investigation style’, ‘reasons for events’, ‘use of models’, ‘measurement skills’). Daarnaast zijn deze aspecten op hun beurt weer gebruikt om te beschrijven hoe de ‘games of physics’ (figuur 68) op de verschillende niveaus ‘gespeeld’ kunnen worden.

“*The ‘games’ of physics*

Before the game of physics can be played, a number of smaller ‘games’ must be learnt. At an abstract level, these can be described as:

a. The concrete bivariate relationships

b. The relationships involving intuitive qualitative and semi-quantitative models (kinetic theory, fluid

¹⁶⁹ M. Shayer (2003). Not just Piaget; not just Vygotsky, and certainly not Vygotsky as *alternative* to Piaget. *Learning and Instruction*, 13, 465-485.

Topic	2A early concrete	2B late concrete	3A early formal	3B late formal
P.1 Floating and Sinking Density	At this level Mass, Weight, Volume, and Density are still 'collapsed' in a global notion of 'heaviness'; knows that wood will float, iron will sink, but without a general explanation available, he can only learn a series of 'individual facts about materials.	Specific theories of floating will be tested, and weight differentiated from mass as a variable. Volume will only partly be conceptualised, and so the weight/volume relationship will not yet be used as an explanatory tool. Different 'heaviness' of materials will be differentiated from 'bigness'. 'A small or a large piece of plasticine will both sink, because the stuff is the same, with the same heaviness.'	Volume conceptualised and displacement seen to be a function of volume, not weight. Weight/volume relationship will be utilised to generate hypotheses in the floating/sinking problem. Complete solution discovered, but rules about relative density can be learned. 'You can find out if two things are the same substance by seeing if their weight/ volume ratio is the same.'	Can handle relationship between, say, density, mass, and spacing of particles. Could formulate a theory of floating relating density of solid to density of liquid, or is likely to find that the clue to the floating and sinking problem is the weight of displaced liquid.
P.2 Force and Pressure	Pressure = Force. 'Stiletto-heel' effect, i.e. The effect of a force is greater if it acts through a thinner surface. 'Force' is a concept which is ordered—'this bigger than that'	Force in liquids is greater at greater depth. Vacuum is treated as a negative force. Air exerts a global force. Force can be partitioned, e.g. where 1 kg weight is lowered on to different numbers of 1 cm ² blocks. The word 'pressure' may be used, but still given a working definition of 'force'.	Distinguishes force from pressure. Pressure is treated as force per unit area. The pressure in a gas or liquid is the same in all directions.	Can apply the pressure concept to the general understanding of conditions of equilibrium, e.g. in a hydraulic press, or water standing at the same height in two interconnecting tubes of different cross-sectional area.
P.3 Equilibrium of Physical Systems	Nominal equilibrium relationships, e.g. at ends of a see-saw in balance, both weights are the same. A smaller weight is more effective further from centre. To make a truck run down hill, put weight in it.	Produces an account of equilibrium in terms of bi-variate linear relationships. For a beam to balance, the heavier the weight the closer it must be to the centre. Likely to predict that halving the distance will compensate for doubling the weight. In the case of an inclined plane, can arrive at formulations like 'the greater the angle the more weight that is needed to stop a truck running down'.	If a system has two independent variables may find effect of each by a control of variables strategy. Can find equilibrium relationships where simple linear proportionality is involved, i.e. in a balance, given weights in 3:2 ratio will predict lengths from centre should be in 2:3 ratio. Can generalise to $L_1/W_1 = L_2/W_2$. For a given angle, in the inclined plane problem, will discover the relative weights as a proportion.	Quickly arrives at a proportionality formulation which can be tested as a hypothesis. Can generalise equilibria such as those of a balance in terms of a <i>work</i> principle (dynamic compensation of more force by less distance). Thus in the more complex inclined plane problem can test and discard a 'more weight/less angle' hypothesis and arrive at the quantitative solution.
P.4 Momentum	Intuitive, global concept of the relative impetus of colliding bodies. Can make predictions with some success which imply that the speed and mass are 'allowed for', i.e. slower and heavier can balance faster and lighter.	Differentiation of velocity from mass as contributory components of momentum, i.e. has a <i>language</i> with which to talk about predictions.	Can use formula to calculate results of collisions when it is taught as an algorithm; i.e. as a procedure, together with elementary rules for the context of its application. Will realise that changes in momentum are caused by forces.	Reinterprets global concept of momentum in an analytical way. Deals with reciprocal relationship of mass and velocity, and can deal with Newton's first law as a conservation statement.
P.5 Velocity and Acceleration	Intuitive notion of speed, but speed and relative position not differentiated, thus likely to call that one faster, which ends up ahead.	Speed as relating distances and time (feet per second; m.p.h.)—hence speeds compared by distance travelled in same time. Intuitive notion of acceleration.	Acceleration conceived as rate of change of velocity. Thus 'ticker-tape' experiments on inclined plane begin to make sense. Can use second-power equations involving constant acceleration as a taught algorithm. ($S = ut + \frac{1}{2}at^2$)	Acceleration as the limiting value of $\frac{\Delta v}{\Delta t}$

Figuur 68. Een fragment uit de 'Games of Physics'.

model of electricity, etc.)

c. Relationships involving ratio variables like $P=F/A$ and simple first order functions involving two independent variables, such as a capacity/potential pair, with a qualitative model of the capacity factor

d. equilibria of systems

e. integrated postulatory and deductive systems (Newton's Laws, elementary thermodynamics, and the first law of thermodynamics)

f. further integration of the systems in (e) with each other.

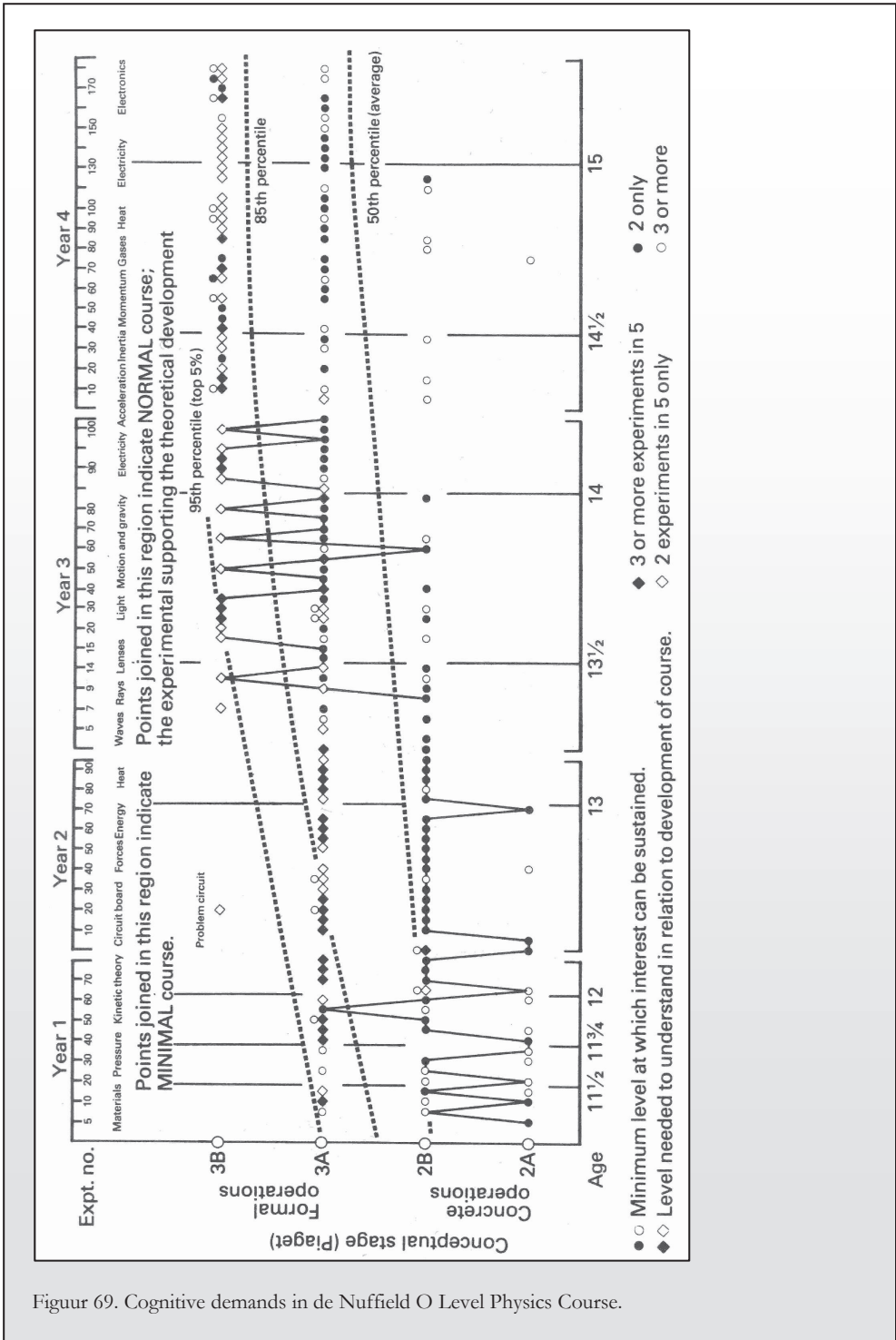
This series forms a psychological hierarchy. The problem in teaching and learning physics is that many of the phenomena covered in (a), (b), and (c) have to be studied separately, and apparently in isolation, before the integrating steps (e) and (f) begin to draw the subject together into a unity. In Piagetian terms (a) involves 2B thinking, (b) and (c) involve 3A, (d) is intermediate and (e) and (f) both require late formal (3B) thinking."

Deze taxonomieën, evenals de beschrijving van de 'games of physics' (figuur 68), dat wil zeggen van de belangrijkste fysische concepten, zijn eigenlijk verplicht studiemateriaal voor elke (beginnende) natuurkundedocent omdat ze een goed beeld geven van hoe relevante natuurkundige denkpatronen en begrippen zich in de loop van een kinderleven kunnen ontwikkelen. En dat ondanks alle kritiek die er wel degelijk op mogelijk is.

7.3.2.2 De 'match'

Dit brengt ons tot de apotheose van deze aanpak, de match tussen leerlingen en curriculum. Daarvoor is (onder andere) het bekende, in hoofdstuk 2 beschreven, Nuffield O-level curriculum geanalyseerd door alle leerlingactiviteiten te beschrijven in termen van daarvoor benodigd Piagetaans niveau. De stippellijnen in figuur 69 geven de denkniveaus weer van a) de gemiddelde leerling, b) de gemiddelde leerling van Engelse grammar schools (85^e percentiel), en c) de hoogst begaafde 5% van de hele populatie. Uit deze figuur blijkt duidelijk dat de eisen van de Nuffield cursus geheel buiten bereik liggen van de gemiddelde leerling en zelfs boven het niveau van de 'selective school' leerling in het eerste jaar (dit betreft ruwweg de top 20%, dus enigszins vergelijkbaar met ons VWO). Ook blijkt uit deze figuur dat de Nuffield-cursus regelmatig cruciale activiteiten bevat, waarvan het noodzakelijk niveau hoger is dan van de andere en die dus als struikelblokken kunnen gaan fungeren voor de leerlingen. Of, zoals het CSMS-team concludeert: "*The (intellectually) very beautiful course Nuffield O level Physics is seen to be suitable only for the top 5 per cent of 11 to 16 year-old secondary school pupils. (...) The parallel PSSC course in the USA, because it is taught only to the 16-18 year-olds, is a little less constrained, but assuming similar population norms is still available only to the top 12-13 per cent.*"

Zie hier de verklaring van het feit dat, zoals ik eerder schreef, de PSSC-course in de praktijk toch vooral geschikt bleek voor 'the gifted child', terwijl datzelfde gold voor de Nuffield-cursus omdat daarin vooral sprake was van 'physics for the inquiring mind'. Hetgeen dan toch de vraag oproept hoe het kan dat zulke professionele ontwikkelteams en docenten zo de plank mis kunnen slaan. En of dat ook in ons land het geval zou kunnen zijn?



Figuur 69. Cognitive demands in de Nuffield O Level Physics Course.

Het CSMS-team noemt als eerste verklaring dat er, tot hun werk verscheen, eigenlijk geen objectief instrument beschikbaar was, waarmee het vage idee van ‘het niveau van een curriculum’ kon worden geoperationaliseerd. We kennen allemaal de intuïtieve wandelgangdiscussies over het (meestal als dalend gedacht) niveau van ons natuurkundeonderwijs, maar het is uiterst moeilijk om echt hard te maken hoe het daar werkelijk mee staat. Weliswaar hebben we tegenwoordig internationale studies als TIMMS en PISA, maar die zijn alleen vergelijkend en gebaseerd op prestatietingen. Maar voor de ontwikkelaars van Nuffield Physics en PSSC waren zelfs die niet beschikbaar en dus konden ze niet anders dan afgaan op hun eigen ervaring met een veelal selectieve groep leerlingen. Bovenal had hun werk de bijzondere drijfveer om de te groot geworden afstand tussen de schoolnatuurkunde en het front van de wetenschap te verkleinen. En daarom werd een beroep gedaan op topfysici en topdocenten van topscholen met topleerlingen, zonder dat men zich dit voldoende realiseerde, die zich helemaal konden wijden aan het gestelde doel, het inhoudelijk updaten van het curriculum. Vanuit dat perspectief werd prachtig lesmateriaal ontwikkeld, maar de ‘gewone’ leerling bleef even buiten beeld. Ik herinner me nog uiterst boeiende voordrachten van Nuffield- en PSSC-mensen op internationale conferenties, die met veel lof en bewondering door de toehoorders werden ontvangen. Zó moest je natuurkunde onderwijzen! Maar niemand stelde de vraag of de doelgroep van leerlingen dit wel aankon, want de materialen waren immers allemaal uitgetest op proefscholen! En niemand vroeg: op welke? Met enige schaamte herinner ik mij ook de MO-A didactiekcursus, waar ik de deelnemers, grotendeels ervaren LBO- en MAVO-natuurkundedocenten, het Nuffield-materiaal met bijbehorende rationale, bijna als ideale methode heb voorgesteld, zonder te beseffen dat dit voor hun populatie leerlingen gewoon veel te hoog gegrepen was!

Zoals beschreven in hoofdstuk 2 werden er, toen de behoefte daaraan duidelijk werd, voor minder begaafde leerlingen (onder andere voor de comprehensive schools) ‘integrated science courses’ ontwikkeld. Bijvoorbeeld ‘Nuffield Combined Science’, wat ontstond door elementen uit de aparte vakcursussen te nemen en die te integreren. Maar, zoals het CSMS-team beschrijft, alhoewel dit de meest gebruikte methode was, werd daarmee de cognitieve plank pas echt misgeslagen. Toch waren er ook lichtpuntjes, zoals de Engelse methode ‘Nuffield Secondary Science’, het Amerikaanse SCIS (Science Curriculum Improvement Study) en het Australische ASEP (Australian Science Education Project), die veel beter aangepast waren aan het niveau van hun leerlingen. Dit wordt toegeschreven aan het feit dat in deze methoden juist niet de vakinhoudelijke updating voorop stond, maar het perspectief van passend bij de doelgroep van leerlingen. Ofwel, hieruit bleek een toenemende aandacht voor leerlinggerichtheid, waarbij de theorie van Piaget juist werd gebruikt om deze aandacht te operationaliseren. Voor ons land kunnen we hieruit leren dat het eigenlijk maar gelukkig was dat het toenmalige PLON-project indertijd juist begon met het ontwikkelen van een MAVO-curriculum, waardoor het gedwongen was van aanvang af veel meer leerlinggericht te werken. En tegen de tijd dat het toe was aan de bovenbouw HAVO/VWO was de overheersende en eenzijdige nadruk op inhoudelijke updating al veel minder dwingend. Door de heel andere historie en projectomvang, heeft het toenmalige CMLS-project voor de scheikunde een andere keus gemaakt, die meer vergelijkbaar was met de ‘Nuf-

field Chemistry Course’, en het heeft daarvan dus ook de nadelen moeten ervaren. Daarnaast kunnen we de vraag stellen of de nadrukkelijke wens tot inhoudelijke updating, dat wil zeggen tot drastische verkleining van de als kloof ervaren afstand tussen school en wetenschap, zoals gekozen door NINA en het nieuwe vak NLT, niet tot soortgelijke problemen kan gaan leiden als hierboven beschreven. Of biedt de moderne aandacht voor de talentvolle leerling hiertegen juist voldoende waarborg?

Rest ons de vraag wat de blijvende waarde is van het CSMS-werk in het bijzonder, en van Piaget in het algemeen. Over het eerste valt op te merken dat deze blijvende waarde niet groot lijkt, afgezien van het feit dat het toentertijd terecht aandacht heeft gevraagd voor het principiële en onderschatte probleem van cognitieve matching tussen onderwijs en leerling. Maar een belangrijke opzet van hun werk was ook dat de door hen ontwikkelde SRT’s en de CAT door de individuele docent gebruikt zouden gaan worden om zijn onderwijs te optimaliseren. En dat nu heb ik nog niet zien gebeuren.

De CAT is mijns inziens potentieel een waardevol instrument, dat kan helpen handen en voeten te geven aan wat je van een natuurkundecurriculum op verschillende niveaus mag verwachten, maar het vergt wel veel bijscholing en oefening om enigszins betrouwbaar en soepel te kunnen worden gebruikt. En de SRT’s voegen waarschijnlijk weinig toe aan de mening die een leraar zich toch al doende vormt over de capaciteiten van zijn leerlingen. Ook al zou een incidenteel gebruik, met name in de onderbouw, wel degelijk ondersteunend en verhelderend kunnen zijn. Maar ook hiervoor geldt dat de docent die zo’n SRT diagnostisch wil gebruiken, zich behoorlijk moet verdiepen in wat de uitkomst dan zou kunnen betekenen voor zijn onderwijs. Als het echter gaat om klassen waarin niet de hele cognitieve breedte van leerlingen is vertegenwoordigd, maar om voorgeselecteerde klassen zoals in ons schoolstelsel, is de toegevoegde waarde beperkt.

Tegenwoordig worden er steeds meer vraagtekens gezet bij de ‘niveaus van Piaget’, wat uiteraard een bom legt onder de theoretische uitgangspunten van het CSMS-bouwwerk. Los daarvan kunnen we hun resultaat (net als dat van vele anderen uit die periode met soortgelijke resultaten) echter ook veel pragmatischer interpreteren. Het moet toch te denken geven voor het natuurkundeonderwijs als we kijken hoe de capaciteiten van populaties leerlingen van verschillende leeftijden, als resultaat van een aantal testen met een duidelijke natuurkundige ‘face validity’, ons indringend waarschuwen voor al te ernstige overschatting!

Een kernprobleem ten aanzien van Piaget, zoals al genoemd, is de vraag of er wel sprake is van één factor, dus of je wel kunt spreken van concreet en/of operationeel denken over de hele breedte. Zoals beschreven is er immers vaak sprake van contextgebondenheid en van niet-optimaal functioneren op het *hoogst* mogelijke niveau. In een recent boek¹⁶⁰ wordt bijvoorbeeld gezegd dat: *“most experts today, regardless of their own specific theoretical orientation, believe that cognitive development consists of advances in a series of different domains of knowledge (for example, physical knowledge, biological knowledge, and psychological knowledge) rather than in general changes applied simultaneously to all the domains of children’s knowledge. In other words, cognitive development does not consist of changes in a single domain-general*

mechanism, as Piaget proposed, but in terms of a series of domain specific mechanisms.” Maar zouden die dan echt volledig onafhankelijk zijn van elkaar?

7.3.3 Het CASE-project

De belangrijkste mensen in het CSMS-project, Michael Shayer en Philip Adey, vonden in ieder geval van niet. *“Central to the position of cognitive developmentalists is a belief in some kind of general processing mechanism of the mind which controls all comprehension. All intellectual activity, in whatever subject domain, is monitored by this general processor.”* Vanuit deze overtuiging hebben ze een vervolgproject opgezet, onder de naam CASE (Cognitive Acceleration through Science Education), met als doel na te gaan of het ook mogelijk is door uitgekiende activiteiten de cognitieve ontwikkeling te versnellen. Vandaar hun motto: *“Really raising standards”*¹⁷⁰. Uit hun CSMS-werk trokken zij de conclusie dat je de geconstateerde ‘mismatch’ in principe op twee manieren kunt aanpakken. Simpel gezegd is de eerste om het niveau van het curriculum te verlagen tot dat van de leerlingen (een terecht of ten onrechte aan Piaget toegeschreven standpunt), en de tweede om het niveau van de leerlingen te verhogen tot dat van het curriculum. Ook al is dat laatste nog niet zo eenvoudig, terwijl zij het eerste omschrijven als *‘severely flawed’*.

Om de cognitieve ontwikkeling te versnellen hebben zij een speciaal interventieprogramma ontwikkeld, gebaseerd op de beschreven Piagetaanse patronen van formeel redeneren (terwijl de SRT's gebruikt worden voor het meten van de versnelling). Zo'n interventie moet, in hun opvatting, duidelijk onderscheiden worden van normale instructie. *“The meaning of instruction is unproblematical: it is the provision of knowledge and understanding through appropriate activities. Instruction can be categorized by topic and domain, and the product of instruction can be specified in terms of learning objectives. (...) Intervention is not such a familiar term amongst educators. We use it to indicate intervention in the process of cognitive development as in manipulating experiences specifically aimed at maximizing developmental potential.”* Dit maximaliseren vindt plaats door de interventie-activiteiten te richten op de ‘zone van de naaste ontwikkeling’. Dit aan Vygotsky (zie verder) ontleende concept wordt omschreven als: *“the distance between the actual developmental level as determined by independent problem-solving and the level of potential development as determined through problem-solving under adult guidance or in collaboration with more capable peers.”* Op zich is deze zone van de naaste ontwikkeling een nogal vaag begrip dat zich moeilijk laat operationaliseren, maar de eerdere CSMS-curriculumervaringen van de CASE-medewerkers kwamen hierbij zeer van pas. Zo ontwikkelde het CASE-project een dertigtal speciale science-leeractiviteiten, die, in de deelnemende klassen van 11+ en 12+ leerlingen, de plaats innamen van reguliere science-lessen, ruwweg eens in de veertien dagen over een periode van twee jaar¹⁷¹. *“Immediately after this two-year intervention programme, those who had received the special lessons showed significantly greater levels of cognitive development than controls, but no better performance in science. The experimental and control groups (now no longer separate or the subject of any special treatment) were followed up until they took their GCSE examinations – two years after the intervention for those who started at 12+ and three years for the 11+ starters. Those who had expe-*

¹⁷⁰ P.S. Adey & M. Shayer (1994). *Really Raising Standards*. London: Routledge.

¹⁷¹ P.S. Adey, M. Shayer & C. Yates (1989). *Thinking Science: The Curriculum Materials of the CASE Project*. Basingstoke: Macmillan Education.

rienced the Thinking Science intervention in their years 7 and 8, or years 8 and 9, performed significantly better in science and mathematics (and also in English language) GCSE examinations than the control groups.”¹⁷² Op zich lijkt het niet zo verwonderlijk dat wanneer je een op formele redeneerpatronen gerichte interventie invoert, je dan ook met op diezelfde patronen gebaseerde SRT’s vooruitgang meet. Maar deze resultaten gaan verder. Hier lijkt sprake van ‘long-term far transfer’, ofwel, een lange-termijn-effect dat zich over heel verschillende vakken uitstrekt. Daarmee lijkt het alsof hiermee een stap gezet wordt naar een lang begeerde heilige onderwijsgraal. Een reden om toch even uitgebreid te kijken naar de ‘features’ waardoor die dan in zicht komt. De belangrijkste van die in praktijk gebrachte kenmerken zijn: cognitief conflict, metacognitie en overbrugging, maar dit alles wel binnen de context van Piagetaanse formele denkschema’s, die de activiteiten inhoudelijk bepaalden.

“Cognitive conflict

This is a term used to describe a dissonance which occurs when a child is confronted with an event which s/he cannot explain using his/her current conceptual framework or method of processing data. (...) Everything which a subject finds surprising or inexplicable does not serve the potentially useful role of cognitive conflict. Probably the majority of surprising experiences are shrugged off as ‘inexplicable’ or as uninteresting, or possibly given a magical or miraculous explanation. Such are not the effects we seek in providing conflicting situations. For the dissonant event to have any effect on the student’s cognitive structure, or fundamental way of thinking about the world, she or he must first be prepared carefully either to expect one thing, or to be ready to weigh what happens against certain possible alternative explanations. (...)

Metacognition

(...) Metacognition means to think about one’s own thinking, to reflect on one’s own actions and strategies, to raise to the level of consciousness the cognitive processes one is using in tackling a problem. (...) This metacognitive emphasis is not easy to illustrate from particular ‘Thinking Science’ activities, since for the most part it was built into the associated INSET¹⁷³ rather than written into the published materials. There are a few examples, however, such as the activity on classification (...) according to their own criteria (...). Now they are asked to consider the classifications that they have made and reflect on which was the most difficult for them, and why, and which was the easiest, and why. (...) In this way, students become accustomed to reflect on the sort of thinking they have been engaged in, to bring it to the front of their consciousness, and to make of it an explicit tool which is then more likely to be available for use in a new context. (...)

Bridging

(...) In the terms of the CASE materials, we knew that if a student was to be able to use a reasoning pattern such as ‘control of variables’ generally across a range of problems, the transfer from a particular example would not just happen without effort on the part of the teacher and the student.”

¹⁷² P.S. Adey (1992). The CASE results: implications for science teaching. *International Journal of Science Education*, 14, 137-146.

M. Oliver, G. Venville & P.S. Adey (2012). Effects of a Cognitive Acceleration Programme in a low socioeconomic high school in regional Australia. *International Journal of Science Education*, 34, 1393-1410.

¹⁷³ Dit is een afkorting voor IN-Service Training: het bijbehorende scholings- en coachingsprogramma voor de deelnemende docenten.

Aldus een korte weergave van de drie essentiële kenmerken van het CASE-project. Wat direct opvalt is eigenlijk hoe vanzelfsprekend ze zijn. Het komt er eigenlijk steeds op neer dat een leerling voortdurend op bij hem passende wijze intellectueel wordt uitgedaagd. Doet elke docent dat dan niet? Helaas moet het antwoord ontkennend zijn. Heel veel tijd in science-lessen gaat ‘verloren’ met het uitvoeren van routinematige taken, die niet uitdagend zijn voor leerlingen. En daardoor geen bijdrage leveren aan het bevorderen van hun cognitieve ontwikkeling. In die zin is het succes van het CASE-project tegelijk een testimonium paupertatis voor het reguliere onderwijs, als dertig lessen verspreid over twee jaar daaraan kennelijk iets substantieels kunnen toevoegen. Centraal hierin staat de ‘sociale mediatie’ door docent (en ‘peers’), conform de Vygotskiaanse opvatting met betrekking tot de zone van de naaste ontwikkeling. Deze docent-rol zij hier nog eens samengevat: *“The mediating role of the teacher lies in first framing the task for the pupils, such that their attention is drawn to problems they will meet and should discuss with one another. This much can be aided by print materials describing well-learned activities. But when the whole class needs to share and grow from difficulties and insights encountered by working groups, only a human teacher can manage the discussion.”*

Als je dit leest, dan onderstreept dat nogmaals de vraagtekens die je kunt zetten bij al te enthousiaste aandacht voor zelfstandig leren. Tegelijkertijd lijkt deze CASE-aanpak zoveel van een docent te vragen dat het bijna onmogelijk is deze aandacht en intensiteit altijd op te brengen. Misschien verklaart dat het feit dat de CASE-aanpak weliswaar in veel landen wordt gebruikt, maar, bij mijn weten, nergens grootschalig is geïmplementeerd. Ook in ons land is dat het geval. Op de website van het Algemeen Pedagogisch Studiecencentrum (APS) vinden we de verwijzing naar ‘Denklessen’¹⁷⁴, waar scholen aan kunnen deelnemen voor een scholings- en coachingstraject. Kortom, daar kunt u terecht, als u denkt: dat moet ik toch ook kunnen!

7.3.4 Afronding

Het CASE-project is voorstander, met vele anderen, van de opvatting dat je niet moet wachten tot leerlingen cognitief klaar zijn voor het onderwijs, maar dat je daarin op gepaste wijze moet vooruitgrijpen op hun ontwikkeling, om die te optimaliseren. Inmiddels is er echter weer een nieuwe tak van wetenschappelijke sport ontstaan, het breinonderzoek, die wat dit debat betreft ook een duit in het zakje wil doen. Recentelijk schreef de gevierde psychologe Eveline Crone bijvoorbeeld als volgt: *“We zullen (...) zien dat de meeste probleemoplossingsfuncties zich ontwikkelen tussen vier en twaalf jaar (de periode dat kinderen op de basisschool zitten). Dit is ook terug te zien in de redeneervaardigheden van kinderen en jongeren; we zien hier namelijk een enorme toename tijdens de basisschooltijd. Maar veel van de functies rijpen nog tot in de adolescentie, zoals planning en flexibiliteit. Niet zo wonderbaarlijk als we weten dat de frontale cortex nog vervolmaakt wordt tot we twintig tot vijfentwintig jaar zijn. We weten nu steeds meer over de hersengebieden die belangrijk zijn voor de ontwikkeling van deze functies en hoe deze met elkaar samenwerken. Het is belangrijk om hier rekening mee te houden*

¹⁷⁴ <http://www.aps.nl/APSite/Onderwijssectoren/Projecten/Exact/Denklessen/Denklessen+introduce.htm?par:Trefwoord=denklessen&> (geraadpleegd in augustus 2012).

Zie ook: B. Meijer & J. Scheer (2011). Denklessen. Verslag WND-conferentie.

*als je goede sturing wilt geven. Als je op jonge leeftijd goed een taal kunt leren, omdat je hersenen er dan rijp voor zijn, dan heeft het veel zin om deze periode hiervoor te gebruiken. Maar als de hersengebieden die belangrijk zijn voor plannen nog niet grijpt zijn als je veertien bent, heeft het niet zo veel zin om van een veertienjarige adolescent te vragen om uit te komen met zijn zakgeld, ook al kan hij al wel goed rekenen.”*¹⁷⁵

Kortom, niks versnellen, althans niet veel, en gewoon wachten tot de relevante hersengebieden voldoende grijpt zijn. Soortgelijke argumenten hebben de psycholoog Jolles er toe gebracht de vloer aan te vegen met de invoering van het studiehuis, omdat de hersenen van de leerlingen helemaal nog niet rijp zouden zijn voor al die zelfstandigheid. Maar zie, zoals te verwachten was, ook daarmee is niet iedereen het eens. Collega ontwikkelingspsycholoog Koops schreef: “*Het ergste wat een psycholoog kan doen is het lekenpositivisme overnemen en menen dat als je weet wat er in de hersenen gebeurt, je dan dichter bij oorzaken bent aangeland. Dat is waarin bijvoorbeeld de hoogleraar Jelle Jolles grossiert, met als bekendste voorbeeld de redenering dat bij ontstentenis van voldoende hersenontwikkeling, pubers niet in staat zijn tot planning en zelfregulatie. En ‘dus’ moet je ze niet in een studiehuis-omgeving zetten. Hoezo ‘dus’? Misschien kunnen we de hersenontwikkeling wel enorm stimuleren door die kinderen op veel jongere leeftijd studiehuis-zelfstandigheid bij te brengen. Dit soort discussies zijn talloze malen gevoerd, maar zelden met als resultaat dat onderzoekers als Jolles tot bescheidenheid worden gebracht.”*¹⁷⁶

Maar zie, vandaag lees ik in *de Volkskrant* (15-9-2012) dat Crone haar idee dat puberhersenen het opruimen van hun kamer nog niet zouden kunnen plannen, bij nader inzien, toch wat simplistisch vindt. En dat als je hen een taak geeft die een beroep doet op hun creativiteit, de prefrontale cortex wel degelijk lang en intensief gebruikt wordt, en ze zich dan ook urenlang kunnen concentreren op ingewikkelde technische vragen! Dus dat valt mee, bij nader inzien! En uit hetzelfde stuk blijkt dat Jolles kennelijk een motivatieknobbel in de hersenen heeft ontdekt, die volgens hem zeer belangrijk is! Zou dit nu ook een postume rehabilitatie van het studiehuis kunnen inhouden?

Hoe dan ook, ik geef het op. We moeten misschien niet alleen wachten tot de hersenen van de leerlingen rijp zijn, maar ook tot datzelfde geldt voor de stand van de wetenschap in deze. Misschien komt er ooit duidelijkheid, maar waarschijnlijk nog niet voor ons. Daarom, terug maar naar het natuurkundeonderwijs.

7.4 Being a scientist for the day?

‘Being a scientist for the day!’, met uitroepteken! Dat was het credo van het Nuffield O level programma. “*Practical work is essential not just for learning material content, but for pupils to make their own personal contact with scientific work*”, om nogmaals Eric Rogers te citeren. ‘Natuurkunde doen’, dus, maar werkt dat eigenlijk wel? En hoe met het ‘discovery learning’ van de psycholoog Bruner en de uitwerking daarvan in PSSC? Wat was het effect van de, dankzij de ter beschikking gekomen goedkope apparatuur, ex-

¹⁷⁵ E. Crone (2008). *Het puberende brein*. Uitgave: Bert Bakker.

¹⁷⁶ W. Koops (2012). Over ‘Grosshirn-Voodoo’. In: *Zijn wij ons brein?* Studium Generale Utrecht.

plosie van het leerlingpracticum die op deze 'gidsprojecten' volgde? Daar wil ik het nu over gaan hebben. Nog niet over 'leren onderzoeken', dat komt later, maar wel over de rol van practicum in het leren van natuurkundige kennis¹⁷⁷.

In deze beknopte introductie zit impliciet een probleem verborgen. Dit ontdekkend leren werd namelijk enerzijds gepropageerd door toonaangevende psychologen, zoals Piaget en Bruner, maar anderzijds ook door bij de curriculumvernieuwing betrokken toonaangevende fysici. Dat waren uiteraard elkaar versterkende invloeden, maar waren hun motieven toch niet heel verschillend? En daarmee ook hun verwachtingen?

Laat ik eerst de psychologische invalshoek onder de loep nemen. Daarin was, los van de cognitieve niveaus, sterk de invloed van Piaget aanwezig. *"Piaget's ideas have been at the heart of some modern psycho-pedagogical strategies, particularly 'discovery learning', in which children are encouraged to discover important aspects of an educational curriculum through active experimentation. (...) Children should be able to do their own experimenting and their own research. Teachers of course, can guide them by providing appropriate materials, but the essential thing is that in order for a child to understand something, he must reconstruct it for himself; he must reinvent it."*¹⁶⁰

Bruner heeft het idee van 'discovery learning' het verst uitgewerkt. Hij was van mening dat als je lerenden 'perplexing situations' aanbiedt, zij, vanuit een natuurlijke nieuwsgierigheid, gemotiveerd zullen zijn om daarvoor zelf een oplossing te vinden. Ontdekkend leren zou leerlingen stimuleren om hun intuïtie, verbeelding en creativiteit in te zetten. Door uit te gaan van het specifieke en van daaruit te zoeken naar het algemene, was deze benadering sterk inductief van aard. Zo was Bruner van mening dat het leren in de klas het beste kon plaats vinden door vanuit specifieke voorbeelden via inductief redeneren te komen tot de formulering van een algemeen principe. Hij veronderstelde dat docenten dit inductieve denken kunnen ontwikkelen, bijvoorbeeld door leerlingen veronderstellingen te laten maken op grond van onvolledige gegevens en dan vervolgens die veronderstellingen te gaan testen. Door vragen moeten de docenten leerlingen dan helpen om verbanden te gaan zien en die te gebruiken in nieuwe veronderstellingen. Kortom, actieve didactiek, zou je tegenwoordig zeggen, maar wel een activiteit die qua aard aansloot bij het toenmalige heersende beeld van een inductieve wetenschappelijke methode voor kennisverwerving. Was dat toeval?

Ook al liepen de visies van Bruner en Piaget voor wat betreft het verloop van de cognitieve ontwikkeling nogal uiteen, voor hun visie op het belang van ontdekkend leren gold dat niet. Zo werd, op grond van hun ideeën, door de fysicus Karplus (in het SCIS-project) een 'learning cycle'¹⁷⁸ ontwikkeld, *"that consisted of the following stages: exploration, in which the student manipulates concrete materials; concept introduction, in which the teacher introduces scientific concepts and, finally, concept application, in which the student investigates further questions and applies the new concept to novel situations."*

Daar kwam nog het volgende bij: *"Many interpreters of Piaget's work (...) inferred that work with concrete objects (provided in practical experiences) is an essential part of the development of logical*

¹⁷⁷ Voor de geschiedenis van het practicum in ons land, zie: D. van Genderen (1994). Practicum in perspectief, 1924-1994. Verslag WND-conferentie.

¹⁷⁸ Deze 'learning cycle' wordt ook vaak omschreven met de termen exploration, invention en discovery, maar dat is een nogal verwarrende terminologie.

*thinking, particularly at the stage prior to the development of formal operations.*¹⁷⁹

In deze leercyclus wordt benadrukt dat bij ontdekkend leren de docent wel degelijk een duidelijke en cruciale rol heeft. Het is dus geen kwestie van maar laten aanrommelen, zoals tegenstanders vaak suggereren, maar tegelijk moet gezegd dat deze docentrol niet altijd even goed uit de verf kwam. Na een min of meer vrije exploratie door de leerling, moet de docent, gestuurd door de uitkomst van de exploratie, wel de nieuwe relevante begrippen introduceren, waarna de leerling deze vervolgens verder kan uitbouwen en hun toepasbaarheid in nieuwe situaties kan ontdekken.

Daarin komen dus de (veronderstelde) ‘aard van leren met begrip’ en de ‘aard van natuurkundige kennisverwerving’ tezamen. Een keuze die ook al door de Commissie Fokker (zie hoofdstuk 2) werd gemaakt: “*De natuurkunde, die wij op de middelbare school onderwijzen, is in de eerste plaats experimentele wetenschap. Aan het onderwijs moet daarom de eisch worden gesteld, dat de natuurkunde onderwezen moet worden als natuurwetenschap – en niet als wiskunde. De weg, waarlangs de leerling bij het onderwijs in de natuurkunde tot kennis komt, moet in wezen dezelfde zijn als waarlangs de natuurkundige wetenschap tot kennis komt.*”

En hoe komt de natuurkunde dan wel tot haar kennis? Door gebruik te maken van de ‘natuurwetenschappelijke methode’, die, wat de ‘experimentele natuurkunde’ betreft, in hoofdzaak inductief te werk gaat, aldus de Commissie Fokker. Deze komt dan ook, zoals eerder vermeld, tot de volgende conclusie: “*Het doel van het onderwijs in de natuurkunde bestaat in het aanbrengen van de kennis der voornaamste natuurkundige verschijnselen en der wetten waardoor zij worden beheerscht, op een wijze die uit proefondervindelijke waarneming opklimt tot het natuurkundig begrip, om de uit zulk begrip volgende conclusie’s wederom aan het experiment te toetsen, zoodat de leerling ervaart hoe natuurkennis wordt verkregen en is verkregen.*” Ofwel, de wetenschappelijke methode werd expliciet gekozen als uitgangspunt voor een goede didactiek. Een keuze die, zoals we gezien hebben, eigenlijk door alle volgende commissies, tot en met NINA, wordt onderschreven, ook al zijn de ideeën over de aard van die methode ondertussen aan verandering onderhevig geweest.

De toenmalige inductieve methode begint met de onbevangen waarneming (naar verondersteld werd, goed voor ‘het scherpen van de opmerkingsgave’), en het verzamelen van gegevens. Door ordening van deze gegevens worden vervolgens de daarin aanwezige verbanden blootgelegd. Wat in de natuur verborgen ligt, wordt zichtbaar gemaakt, of, in de meest letterlijke zin, ‘ontdekt’. Immers, door de natuur maar op de goede manier te bevragen, geeft deze, als het ware, zelf de antwoorden! Het gaat er alleen om daarnaar goed te leren ‘luisteren’. ‘Ask Nature’, heette een bekend Deens project uit de jaren zeventig dan ook!

In veel handleidingen bij practicumexperimenten herkennen we nog deze opzet. Een verschijnsel bestuderen of een opstelling bouwen en daarmee vervolgens data verzamelen. Dan, in redelijk eenvoudige experimenten, door ordening van de meetgegevens de onderliggende relatie tussen de variabelen ontdekken, of, in meer complexe experimenten, door ordening van de data de eerder behandelde theorie verifiëren! Maar om te zorgen dat de leerlingen dan wel datgene zullen ontdekken wat bedoeld is, is het

¹⁷⁹ A. Hofstein & P.M. Kind (2012). Learning in and from science laboratories. In: B.J. Fraser, K.G. Tobin & C.J. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook of Science Education* (pp. 189-207). Dordrecht: Springer.

meestal onvermijdelijk om de handleiding daar precies en gedetailleerd op te richten, wat dan resulteert in het bekende (en verfoeide?) kookboekexperiment (zie figuur 70). Een ongemakkelijk dilemma voor veel docenten. Kennelijk spreekt de natuur nu ook weer niet zo duidelijk voor leerlingen!

Ogborn¹⁸⁰ heeft deze aanpak recentelijk als volgt beschreven: “*Many theories of the learning of science draw their inspiration, and gain a semblance of conviction, by relying on some idea of the nature of science. For example, theories which stressed ‘discovery’ as essential to learning science relied on a simple empiricism in which scientific knowledge could be read direct from the face of Nature. They gained appeal from assimilating the task of learning to the task of finding knowledge, so that the student’s learning could be seen as the same activity as that of the scientist. It thus became essential to such theories to regard the discovery of scientific knowledge as an individual matter of interacting directly with physical reality through experiment and observation. And it could be left to Nature to do the teaching, since the learning process of becoming convinced of an idea was seen as the same as the discovery of finding an idea. Learning was seen as simply a matter of becoming persuaded of an idea because it was plainly the case; the ‘certainty’ of scientific knowledge became transmuted into the rational conviction of the learner. At least we are now clear that this is all nonsense.*”

Kortom, de genoemde leercyclus kan vanwege de ongerichte exploratie eigenlijk helemaal niet werken. Los van Ogborn’s principiële kritiek, bleek de praktijk dan ook niet altijd even rooskleurig te verlopen. Verschillende reviewstudies naar de rol van praktisch werk in het science-onderwijs laten weliswaar een sterk geloof in de potentie daarvan zien, maar signaleerden tegelijk belangrijke problemen voor wat betreft de resulterende effectiviteit. Het enige gebied waarvoor praktisch werk écht voordeel bleek te bieden, was de ontwikkeling van experimenteervaardigheden, wat uiteraard niet echt verrassend genoemd kan worden. Maar ten aanzien van het bevorderen van conceptueel begrip, kritisch denken en begrip van de ‘nature of science’, bleek er eigenlijk steeds weinig tot geen meetbaar verschil op te treden. En dat is toch wél verrassend, gegeven alle er mee gepaard gaande psychologische en fysische retoriek. Laten we daarom nog wat preciezer kijken naar de uitkomst van deze reviewstudies¹⁷⁹. “*(...) laboratory work in schools tended to focus on following instructions, getting the right answer or manipulating equipment. Students failed to achieve the conceptual and procedural understandings that were intended. Very often, students failed to understand the relationship between the purpose of the investigation and design of the experiments. In addition, there was little evidence that students were provided with opportunities and time to wrestle with the nature of science and its alignment with laboratory work. Students seldom noted the discrepancies between their own concepts, their peers’ concepts and the concepts of the science community. In sum, practical work meant manipulating equipment and materials, but not ideas. (...) During the 1980s, researchers started to question this practice and its theoretical underpinning in the light of philosophical and sociological accounts associated with constructivism. The argument was that the entire science education community had been misled by a naïve empiricist view of science, referred to by Robin Millar¹⁸¹ as the Standard Science Educa-*

¹⁸⁰ J. Ogborn (2004). Science and technology: What to teach? In: M. Michelini (Ed.), *Quality Development in Teacher Education and Training* (pp. 69-84). Udine: Forum.

¹⁸¹ Voor verwijzingen naar de oorspronkelijke literatuur bij de in dit citaat genoemde namen, zie noot 179.

9B

NAAM: KLAS:

1. Noteer je metingen in onderstaande tabel en bereken bij elke temperatuur de spanning van de afgesloten lucht.

barometerstand:

temperatuur in °C	spanningsverschil in cm Hg	spanning van lucht in kolf in cm Hg
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

2. Zet in een grafiek de spanning uit tegen de temperatuur; plaats op de p as bij het snijpunt van de assen 60 cm Hg.

3. Wat maak je op uit deze grafiek?

Welke functie geeft het verband aan tussen p en t ?

Bepaal de constanten c_1 en c_2 in deze functie.

Welke dimensie heeft elk?

Welke betekenis heeft elk?

.....

4. Onder de spanningscoëfficiënt van een gas verstaat men de waarde van

$$\frac{\text{spanningstoename per graad}}{\text{spanning bij } 0^\circ\text{C}}$$

Bereken deze waarde voor lucht.

.....

5. Bereken de relatieve fout in het volume, die ontstaat doordat het kwik in de manometer wordt verplaatst. Stel de diameter van de capillair buis 1 mm.

.....

Bereken de relatieve fout in het volume, die ontstaat doordat het glas van de kolf uitzet.

.....

Zijn deze fouten toelaatbaar, gezien de nauwkeurigheid van de aflezingen?

Figuur 70. De metingen en dataverwerking van de proef 'Verband tussen spanning en temperatuur van een gas'. Uit: C.F. Kelder, J.Ph. Steller en E.E.F. Zweers (1975). *Doen en Denken: cursorische natuurkunde-practicumproeven voor de bovenbouw*. Groningen: Wolters-Noordhoff.

tion (SSE) view. The SSE view presents science as a simple application of a stepwise method, and further relates these steps to particular intellectual and practical skills. In other words, by having the right skills and by applying 'the scientific method', anyone can develop scientific knowledge. With the denial of this view of science inquiry, science educators were in need of an alternative, but finding this took some time and required a series of developments. (...)

Dit citaat benadrukt nogmaals het al beschreven falen van leerlingexperimenten vanuit de discovery-optiek. Docenten gebruiken practicum gewoon niet op een manier die leidt tot een effectief conceptueel leerresultaat. Ofwel, de theorie-praktijkkloof hiervoor is buitengewoon groot. 'Natuurkunde doen' blijkt in de praktijk nog niet zo simpel vorm te geven! Dat is, wellicht ten overvloede, recent nog eens bevestigd in een onderzoek van Abrahams & Millar¹⁸². Zij analyseerden typische science-lessen van 25 docenten ten aanzien van het gebruik van praktisch werk. Slechts één (!) daarvan besteedde meer dan oppervlakkige aandacht aan de noodzakelijke conceptuele inbedding. Ze trokken daaruit dan ook de volgende conclusie: *"In particular, we noted a significant difference between the effectiveness of practical work in the domain of observables and in the domain of ideas. Yet many teachers do expect students to learn theoretical ideas through practical activities – as a consequence of actions carried out with objects and materials. The teachers in the study sample frequently included the learning of scientific ideas amongst their objectives for a practical lesson. This, however, contrasted with the absence of any overt evidence of planning how students might learn such ideas from what they did and observed, either in the oral or written instructions on the task or in the way these were presented. Very little time was devoted to supporting the students' development of ideas. Many teachers appeared (tacitly or explicitly) to hold an inductive, 'discovery based' view of learning – to expect that the ideas that they intended students to learn would 'emerge' of their own accord from the observations or measurements, provided only that they produce them successfully. The underlying epistemological flaw in this viewpoint, and the practical problems to which it leads, have long been recognized. Our study suggests that practical work in science could be significantly improved if teachers recognized that explanatory ideas do not 'emerge' from observations, no matter how carefully these are guided and constrained. Science involves an interplay between ideas and observation. An important role of practical work is to help students develop links between observations and ideas. But these ideas have to be introduced. And it may be important that they are 'in play' during the practical activity, rather than introduced after it to account for what has been observed."*

Het lag dus niet aan mij dat ik, als dertienjarig jongetje, alleen maar water zag dat ging borrelen, in plaats van de door de Stoppel bedoelde effecten van met de temperatuur toenemende dampdruk. En dus moeten we concluderen dat ruim veertig jaar ervaring met praktisch werk, over het algemeen, nog steeds niet vanzelfsprekend geleid heeft tot de veronderstelde leeropbrengst. De grote uitdaging is kennelijk nog steeds hoe deze praktijk zodanig te veranderen, dat het focus komt te liggen op 'manipulating ideas instead of equipment'. Het zijn veelal de, overigens volstrekt begrijpelijke, praktische randvoorwaarden van alledag, zoals beschikbaarheid van apparatuur, practicumruimten, onophoudelijke tijdsdruk, hulp van TOA's, allerlei klassenmanagement-pro-

¹⁸² I. Abrahams & R. Millar (2008). Does practical work really work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education*, 30, 1945-1969.

blemen, etc., die er toe leiden dat de docent zijn handen al vol heeft aan de organisatie en uitvoering. De conceptuele inbedding komt dan achteraan, te meer daar deze een gewenste mogelijkheid tot flexibele inzet eerder belemmert dan bevordert. Eigenlijk zijn dit wat trieste constatering, waarvan we ons kunnen afvragen in hoeverre die ook voor ons land gelden. Bij mijn weten is er geen recent onderzoek gedaan naar de practicumpraktijk in ons land. Wel kunnen we uit een aantal onderzoeken (zie hoofdstuk 2) concluderen dat er een ruime mate van acceptatie voor is, maar de didactische kwaliteit waarmee het gebeurt, is niet duidelijk. Mijn jarenlange ervaring met het gedetailleerd bestuderen van onderwijsleerprocessen in de klas, geven me, wat die kwaliteit betreft, weinig reden tot optimisme. Typisch voor de genoemde acceptatie is bijvoorbeeld dat één van de klachten ten aanzien van (de eerste versies van) het nieuwe NINA-materiaal is dat er te weinig aandacht in is voor practicum. Een kritiek die overigens los lijkt te staan van de vraag of dat practicum ook conceptueel functioneel inpasbaar is. Ze lijkt veel meer ingegeven door zaken als voorbereiding op een praktische eindopdracht, of profielwerkstuk. Dat illustreert overigens dat practicum vanuit heel verschillende motieven gedaan wordt. Bijvoorbeeld, ter afwisseling van werkvorm, waarbij het een actieve en door leerlingen vaak goed gewaardeerde activiteit is, waarin ze bovendien (als doel op zich) zelfstandig kunnen werken en die steeds meer in het teken van 'leren onderzoeken' is komen te staan. Dus practicum als onderdeel van een onderzoeksleerlijn, niet zozeer als integraal onderdeel van, maar veel meer naast de behandeling van theorie. Een ontwikkeling die, denk ik, ook gestimuleerd is door de technologische ontwikkelingen van de laatste decennia. Van de eenvoudige houtje-touwtje schoolapparatuur van de 'jaren zestig', apparatuur die juist aan de wieg stond van de practicumexplosie, is niet veel meer over. De trolleys, timers en ticker-tapes van Nuffield, die ter verwerking in stukjes moesten worden geknipt en geplakt (alleen de tapes!), zijn vervangen door video-experimenten, met volautomatische computersturing en dataverwerking. Ik begrijp dat de huidige ipad/pod-generatie om een aan hun tijd aangepaste aanpak vraagt, maar ik ben bang dat dit toch, op zijn minst enigszins, ten koste is gegaan van de noodzakelijke didactische transparantie!

Wat kunnen we hier nu uiteindelijk uit concluderen? Kunnen leerlingen nu eigenlijk wel een 'scientist for the day' zijn? Ik denk dat, ondanks alle beschreven problemen, dat wel degelijk mogelijk is, maar ook dat de verwezenlijking daarvan heel veel vraagt van docenten. Ongetwijfeld zijn er veel docenten die daar soms in slagen, maar tegelijk zijn er, denk ik, maar heel weinig docenten voor wie dat de normale dagelijkse praktijk zal zijn. Laat ik dit illustreren met de wijze woorden van Hubert Biezeveld. Hubert was jarenlang een voorbeeld van een docent die op inspirerende wijze practicum deed met zijn leerlingen. Op de Woudschotenconferentie 2010 van de WND¹⁸³ was hij gevraagd te spreken over 'practicum en onderzoekend leren', dus precies het onderwerp waar het hier om gaat. Echter, Hubert schrijft: *"Ik heb bijna veertig jaar practicum laten doen in mijn lessen, maar nu ik er over nadenk heeft 'onderzoekend leren' daarbij zelden voorop gestaan – u mag het niet verder vertellen: ik weet zelfs niet wat dat is. (...) Ik moet u nu iets schan-*

¹⁸³ H. Biezeveld (2010). Opa vertelt over practicum. Verslag WND-conferentie *Canon van de Natuurkundedidactiek*.

delijks bekennen. Ik heb me op theoretisch niveau nooit afgevraagd waarom ik practicum liet doen. (...) Achteraf bekeken heb ik er maar één zeer banaal motief voor: alles is voor leerlingen beter dan 50 minuten naar mij te moeten luisteren.

Wat bereikte ik hiermee? Handigheid, inzicht, blijvende kennis, een onderzoekende houding...? Geen idee. Ik ben zelfs van mening dat we ons geen enkele illusie moeten maken over de blijvende effecten van onze lessen. Wat ik wel bereikte met de practica en met mijn pogingen om niet voortdurend aan het woord te zijn, was sfeer; die is volgens mij zeer bepalend voor resultaten op toetsen en examens. Misschien zijn meisjes hier iets gevoeliger voor, maar of het verschil met jongens echt significant kan worden aangetoond, betwijfel ik. Ed van den Berg kwam eens met een stel Indonesische docenten bij mij in de les in V4. Iedereen was bezig en toen vroeg een van hen aan een stel hard werkende meiden: "Do you like physics?" Hij verwachtte natuurlijk "Yes, we do" als antwoord te krijgen. Maar het antwoord was "No". Ze hielden niet van natuurkunde, maar ze voelden zich veilig in mijn les. Van een andere leerling uit die tijd, zo'n 13 jaar geleden, kreeg ik laatst een brief. Ik had haar in al die jaren niet gesproken. Ze schreef o.a.: 'Ik ben nog steeds erg blij dat ik natuurkunde en andere bètavakken met succes heb afgerond en kijk met meer genoegen terug op de zevens die ik haalde voor natuur- en scheikunde dan de negens voor talen en geschiedenis. Het was gemakkelijk geweest natuurkunde te laten vallen, maar dankzij jouw begeleiding begon ik te geloven dat ik het vak kon halen. Veel dank dus daarvoor.' (...)

In een van de vervolgbrieven vertelde ik haar dat ik dit verhaal moest houden en ik vroeg haar of ze nog concrete herinneringen had aan een of meer van de lessen en speciaal de practica, of dat het meer de sfeer was. Ze schreef terug dat de lessen en de practica aanzetten tot nieuwsgierigheid. Of, waarschijnlijker: ze zwengelden nieuwsgierigheid aan waar die al enigszins aanwezig was. Ze dacht vooral met plezier aan de natuurkundelessen en practica terug vanwege de sfeer die er heerste. 'Ongedwongen en gericht op samenwerking. Dat ik geen bètatalent was, was mij wel duidelijk, maar ik heb me nooit dom gevoeld bij je natuurkundelessen, ook al begreep ik niet alles. Achteraf lijkt mij dat leergierigheid belangrijker was tijdens de lessen (en dat dat het signaal was dat je uitzond) dan het halen van achten en negens. En ik heb de indruk dat (bijna) iedereen die boodschap begreep, wat de samenwerking onderling weer stimuleerde.'

En toch! Hoezeer ik ook begrip heb voor het vertederend openhartige standpunt van Hubert, toch zou er meer mogelijk moeten zijn met practicum dan dat alleen de sfeer er positief door beïnvloed wordt, hoe belangrijk dit ook moge zijn. Sterker, ik ben er van overtuigd dat dat bij Hubert ook het geval was. Ik voel me daarin gesteund door diezelfde Ed van den Berg, een vakdidacticus die zich veel met practicum heeft beziggehouden¹⁸⁴. Deze poneert, aan het eind van een interview over practicum, sprekend over het manipuleren van apparatuur en van ideeën in hun hoofd door leerlingen, de volgende stelling: "Als die laatste component ontbreekt, dan heeft het practicum geen zin!"

¹⁸⁴ <http://www.eccent.nl/artikel/1770/Fcn%20leerlijn%20practicum/view.do>

8 De diagnose van het constructivisme

Achter op de fiets:

“Ben ik zwaar?”

“Nogal!”

“Maar ik hou me zo licht als een veertje.”

En ze begint haar adem in te houden.

Margotje Lijnse (6;6)

8.0 Doel

Als reactie op de teleurstellende resultaten van ‘discovery learning’ en de eenzijdige nadruk van Piaget op operaties, kwam het ‘constructivisme’ naar voren¹⁸⁵. Lereren als een actief construerend proces, waarbij leerlingen geen ‘tabula rasa’ zijn, maar nieuwe kennis construeren op grond van al bestaande kennis. Dit hoofdstuk wil eerst een indruk geven van het vele onderzoek dat onder deze noemer is verricht, met name naar allerlei pre- en misconcepties van leerlingen. Na het aanvankelijke optimisme riep dit onderzoek ook een aantal diepere vragen op. Wat is eigenlijk de diepere oorzaak van deze misconcepties? Zijn ze niet terug te brengen tot een beperkter aantal patronen? Wat is hun relatie met common-sense en daarbij aansluitend, zijn ze eigenlijk wel zo fout als altijd beweerd wordt? Interpretieren we leerlinguitspraken wel op de juiste manier? Waarin onderscheidt common-sense zich trouwens van natuurkunde? En wat is dan uiteindelijk de resterende waarde van al dat didactisch onderzoek dat onder deze vlag heeft plaatsgevonden? Ook op dit soort vragen wil dit hoofdstuk ingaan.

8.1 Het begin

Vanwege de onvermijdelijke overlap moest ik, in het voorgaande, de term ‘constructivisme’ al een paar keer laten vallen. Eigenlijk is het een oeverloos onderwerp, en volgens sommigen ook een zinloos onderwerp, waarover zeer veel is geschreven, maar ik zal me focuseren op wat ik zie als didactische praktijkrelevantie. Dit praktijkbelang drong pas voor het eerst echt tot me door op een conferentie in 1979, toen ik Rosalind Driver ontmoette. Deze charismatische vrouw presenteerde een verhaal onder de titel ‘The pupil as scientist?’, waarin zij naar voren bracht dat het science-onderwijs, zoals net besproken, leed onder de ‘fallacy of inductivism’. Dit was min of meer het begin van de opkomst van wat ik ‘didactisch constructivisme’ wil noemen. Dit ter onderscheiding van andere ‘soorten’ constructivisme, die weliswaar veel aandacht hebben gekregen, maar die ik toch slechts terloops aan de orde wil stellen. Driver’s onderzoeksresultaten lieten door middel van protocollen van gesprekken tussen leerlingen, of tussen leerlingen en docenten, overduidelijk zien waar de didactische schoen wrong. Deze rapportage was in zichzelf een symptoom van een belangrijke verande-

¹⁸⁵ Er zijn vele varianten in omloop: personal constructivism, social constructivism, socio-constructivism, radical constructivism, trivial constructivism, philosophical constructivism, psychological constructivism. Ik zal me concentreren op datgene waarvan ik denk dat het relevant is voor de onderwijspraktijk, de theoretische haarkloverijen zal ik daarbij zo veel mogelijk proberen te vermijden.

ring in onderzoeksmethodologie¹⁸⁶. Tot in de late jaren zeventig moest onderwijsonderzoek eigenlijk uitsluitend kwantitatief/statistisch van aard zijn, wilde het tenminste de kwalificatie onderzoek überhaupt waard zijn. Daarin ging het om het meten van objectieve 'effecten', waarvoor ter verklaring gezocht werd naar causale relaties tussen belangrijk veronderstelde variabelen (precies zoals nu het onderzoek weer gericht moet zijn op het naar voren brengen van 'degelijke', dat wil zeggen statistisch onderbouwde, 'empirical evidence'.) In haar latere boek¹⁸⁶ schreef Rosalind onder andere als volgt: "*In developing science teaching material little attention has yet been paid to the ideas which children themselves bring to the learning task, yet these ideas may have significant influence on what children can and do learn from their science lessons. Over a decade ago, the psychologist David Ausubel commented on the importance of considering what he called children's preconceptions, suggesting that they are 'amazingly tenacious and resistant to extinction...' and that '...unlearning of preconceptions might well prove to be the most determinative single factor in the acquisition of subject matter knowledge.*"¹⁸⁷

This perspective on learning suggests that it is as important in teaching and curriculum development to consider and understand children's own ideas as it is to give a clear presentation of the conventional scientific theories. (...) By the time children are taught science in school, their expectations or beliefs about natural phenomena may be well developed. In some cases these intuitions are in keeping with the ideas pupils will meet in their science lessons. They may be poorly articulated but they provide a base on which formal learning can build. However, in other cases the accepted theory may be counter-intuitive with pupils' own beliefs and expectations differing in significant ways from those to be taught. Such beliefs I shall refer to as 'alternative frameworks'.

Another characteristic of the science curriculum development of the last few decades has been an emphasis on the heuristic method. (...) Secondary pupils are quick to recognize the rules of the game when they ask 'Is this what was supposed to happen?' or 'Have I got the right answer?'. The intellectual dishonesty of the approach derives from expecting two outcomes from pupils' laboratory activities which are possibly incompatible. On the one hand pupils are expected to explore a phenomenon for themselves, collect data and make inferences based on it; on the other hand this process is intended to lead to the currently accepted scientific law or principle.

Some insight into this problem can be gained by considering different views of the nature of science. The most simplistic view of the scientific enterprise is, perhaps, the empiricist's view, which holds that all knowledge is based on observation. Scientific laws are reached by a process of induction from the 'facts' of sense data. Taking this view of science, observations are objective and facts immutable. Also, such a position asserts that science will produce a steady growth in knowledge. (...)

For a long time philosophers of science and scientists themselves have recognized the limitations of the inductivist position and have acknowledged the important role that imagination plays in the construction of scientific theories. In this alternative constructivist or hypothetico-deductive view, theories are not related by induction to sense data, but are constructions of the human mind whose link with the world of experience comes through the processes by which they are tested and evaluated. (...)

¹⁸⁶ Onder dezelfde titel publiceerde zij in 1983 een invloedrijk boekje. R. Driver (1983). *The Pupil as Scientist?* Milton Keynes: OUP. In 1990 werd Rosalind, vanwege haar internationale verdiensten voor de vakdidactiek, 'onze' Minnaertprijs toegekend.

¹⁸⁷ D.P. Ausubel (1968). *Educational Psychology: A Cognitive View*. Holt, Reinhart.

Through the eyes of those initiated in the currently accepted theories of science, common school demonstrations, such as trolleys and ticker tapes, experiments with batteries and bulbs, or work with ray boxes, mirrors and prisms, appears to offer self-sufficient support for the underlying principles they are designed to demonstrate, whether it is Newton's Laws of Motion or the Laws of Reflection of Light. If children fail to abstract and understand these principles from their experiments, it may be seen as the children's error either for not observing accurately or not thinking logically about the pattern in the results.

The constructivist view of science, on the other hand, indicates the fallacy here. (...) The theoretical models and scientific conventions will not be 'discovered' by children through their practical work. They need to be presented. Guidance is then needed to help children assimilate their practical experiences into what is possibly a new way of thinking about them."

In dit lange citaat zijn alle elementen aanwezig die toen, en in de jaren daarna, aanleiding hebben gegeven tot uitgebreide discussies en aanvullingen en uiteindelijk ook tot de ondergang van het constructivisme als toonaangevend paradigma voor het ontwikkelen van science-onderwijs. Waarom sprak haar relaas mij zo aan? Wel, in die tijd was ik, zoals beschreven, betrokken bij het PLON-project en ik realiseerde me dat wij precies dezelfde 'fouten' maakten als de 'inductivists'. Weliswaar focuseerden wij als kern van onze vernieuwing sterk op 'relevante contexten', maar qua begripsontwikkeling hanteerden wij in feite nog steeds de gebruikelijke inductieve top-down didactiek, waarin geen aandacht was, anders dan in triviale zin, voor de voorkennis van leerlingen. Maar bovendien, wat zij zei was heel herkenbaar, het klopte! Zo herinner ik me nog levendig dat experiment met de luchtkussenbaan. Deze 'innovatie' was voor mij de meest overtuigende demonstratie van het traagheidsbegrip die je je kon wensen, maar leerlingen bleken er allermist van onder de indruk. Die glijder bleef nu weliswaar iets langer bewegen, logisch want de weerstand was immers minder, maar nog steeds ging dat ding gewoon stilstaan omdat er geen kracht op werkte! Of mijn ongelooft toen die collega rapporteerde dat zijn leerlingen spraken over gele zwavelatomen. Met zo'n mogelijkheid hadden we in onze prachtige lessenseries over atomen totaal geen rekening gehouden! Trouwens, hoe zit het ook alweer met kleur? Gras is toch gewoon groen? Ook 's nachts, als je het niet kunt zien! Toch...?

Natuurlijk kwamen Driver's opvattingen niet volledig uit de lucht vallen. Zoals zo vaak, kennelijk was de tijd er rijp voor. De teleurstellende resultaten van de meest spraakmakende ontwikkelingsprojecten zijn al genoemd, en die vroegen natuurlijk om fundamentele didactische herbezinning. Een deel daarvan werd ingegeven door de toenmalige heroriëntering in de wetenschapsfilosofie. Weg van het empirisch-positivistisch wetenschapsbeeld en naar een constructivistische pendant, uiteindelijk zelfs met een vergaand theorie-relativisme. Maar daarnaast was er ook de invloed van de toenmalige 'cognitive swing' in de psychologie. De CSMS-verklaring van de teleurstellende Nuffield-resultaten werd weliswaar geaccepteerd, maar tegelijk als onvoldoende beoordeeld. Zoals we gezien hebben was de CSMS-verklaring gebaseerd op een analyse van noodzakelijke (en nog niet beschikbare) logische denkoperaties. Driver wees er echter op dat het in menselijk redeneren altijd gaat om een samenspel van 'legality' en 'causality'. Bij het laatste gaat het om de inhoud van wat men denkt of

gelooft, bij het eerste om de logische vorm. Zij beargumenteerde, en illustreerde dat met voorbeelden van leerlinguitspraken, dat het uiteindelijk de inhoud is die domineert over de vorm in het denken van leerlingen (en van mensen!). En het was immers juist deze inhoud, dus de invloed van de ideeën van leerlingen, die in het CSMS-werk geen rol speelde!

De term constructivisme zijn we al bij Piaget tegengekomen, evenals het feit dat Piaget in zijn vroege onderzoek op zoek is geweest naar het inhoudelijke denken van kinderen. Vanwege zijn fascinatie voor de cognitieve ontwikkeling zoals hij die zag, lag in zijn constructivisme echter het accent op het zelf construeren van de noodzakelijke logische denkoperaties. De inhoudelijke ideeën van kinderen deed hij veelal af als ‘mere romancing’ en voor de eventuele rol daarvan in het onderwijs had hij eigenlijk geen belangstelling. De Duitse ‘Physik-Pädagoge’ en didacticus Wagenschein¹⁸⁸ besteedde wel veel aandacht aan het inhoudelijke denken van leerlingen, maar het feit dat hij de vroege kinderjaren, voor wat betreft hun relatie tot natuurwetenschappelijke kennis, omschreef als hun ‘romantische periode’, duidt wellicht op eenzelfde onderschatting. De woorden van Ausubel lijken dan ook de eerste te zijn die nadrukkelijk wijzen op de mogelijk hardnekkige rol die de voorkennis van leerlingen kan spelen in het leerproces. Ausubel hield zich bezig met ‘meaningful verbal learning’, wat hij afzette tegenover ‘rote learning’. Dat laatste, ‘van buiten leren’, zag hij als het ongewenste resultaat van veel overdrachtsonderwijs, waarin onvoldoende rekening werd gehouden met de inpassing van het geleerde in de bestaande cognitieve structuur. Deze cognitieve structuur staat voor de georganiseerde manier waarop kennis en vaardigheden, dat wil zeggen begrippen, relaties, episodes, procedures, verondersteld worden in het geheugen te zijn opgeslagen. Nieuwe kennis wordt, als het goed is, ‘organisch’ ingepast in de al bestaande structuur, en zo wordt haar ‘betekenis’ geconstrueerd. Voor een goede inpassing is het dus essentieel dat de onderwijsgevende goed op de hoogte is van de voorkennis van de leerling, zodat hij daarvoor optimaal kan zorgdragen. Want kennis die los van de bestaande structuur wordt opgeslagen, krijgt dus ook geen zinvolle betekenis en kan dan ook niet anders functioneren dan in de vorm van reproductie van uit het hoofd geleerde ‘quasi-kennis’. En zal dus snel worden vergeten. Sindsdien is de term betekenisvol leren niet meer uit het onderwijsjargon weg te denken, tot op de dag van vandaag. Het verbale leren duidt er overigens ook op dat Ausubel hierin de docent de belangrijkste rol toekende, en niet zoveel ophad met het ‘zelf ontdekken’.

Laat ik hier nog wat langer bij stilstaan, want hierin komen we bij de kern. ‘Nieuwe kennis wordt geconstrueerd op grond van al aanwezige kennis’, eigenlijk komt, didactisch gezien, alles hier op neer. “*Construeren*,” aldus Van Oers¹⁸⁹, “*is elke (materiële, talige of mentale) handeling waarin door samenvoeging van twee of meer afzonderlijke elementen een nieuw geheel ontstaat.*” Dit geldt ook, zoals hij schrijft, wanneer op mentaal of verbaal niveau, subject-predicaatstructuren worden gevormd, want die ontstaan immers ook altijd door samenvoeging van minstens twee elementen: een dat is *gegeven* en het *nieuwe* dat

¹⁸⁸ M. Wagenschein (1962). *Die Pädagogische Dimension der Physik*. Braunschweig: Westermann.

¹⁸⁹ B. van Oers (1995). Cultuuroverdracht als reconstruerende activiteit. *Pedagogisch Tijdschrift*, 20, 263-275.

daaraan wordt toegevoegd. Maar het probleem zit hierin voor mij toch in het woord samenvoegen. Hoe gaat dat? Door als het ware iets gewoon aan elkaar te plakken? Of ook door herschikking van en/of inpassing in het al bestaande? Hoe dan ook, het nieuwe wordt, als het ware, uit zijn oude docentomgeving ‘ingepast’ in de nieuwe omgeving van de leerling. En omdat die nieuwe omgeving anders is dan de oude, verandert dus de betekenis van het ingepaste. Anders gezegd, betekenis kan niet direct worden overgedragen, maar wordt geconstrueerd.

Natuurlijk zal iedere docent die zichzelf respecteert, zeggen: aansluiten bij de voorkennis van leerlingen, dat doet toch iedereen! En dat is ook zo. Zelfs het basismodel uit het behaviorisme (figuur 60) heeft als tweede stap de vaststelling van het ‘entering behavior’. Toch zal dit vaststellen van de voorkennis er in de praktijk vaak op neerkomen dat alleen wordt nagegaan wat al behandeld is, dus wat bekend *zou moeten zijn*. In feite worden leerlingen als ze de school binnenkomen, ten aanzien van natuurkunde, grotendeels beschouwd als onbeschreven bladen, tabula rasa, die door ons, docenten, achtereenvolgens worden volgeschreven. En als we dat goed doen, dat wil zeggen als we de ‘stof’ helder en zorgvuldig in de goede vak-logische volgorde (van elementair naar complex) uitleggen, dan kan het toch niet anders of de goed oplettende leerling zal het begrijpen? En vandaar, zoals Driver ook schrijft, dat ‘rare’ uitspraken van individuele leerlingen in de klas al snel worden geïnterpreteerd als blijk te geven van onbegrepen uitleg, als gevolg van niet goed opletten of van geen huiswerk maken. En meestal niet als mogelijk wortelend in problematische preconcepties. Kortom, in deze oppervlakkige zin is aansluiten bij de voorkennis van leerlingen een vanzelfsprekendheid en ook precies wat elke onderwijsgevende zal doen. Maar als je eenmaal door de ogen van leerlingen hebt leren kijken, echt hebt ‘leren luisteren naar leerlingen’, dan wordt het aansluiten bij voorkennis een heel andere zaak. Bovendien gaat het dan niet alleen om het aansluiten bij voorkennis, maar is het hele verloop van het begripsonwikkelingsproces, dus het hele verloop van de instructie, een kwestie van voortdurend goed aansluiten. En slagen we er dan wel in datgene te bereiken wat we voor ogen hadden? In Frankrijk was bijvoorbeeld een groep didactische onderzoekers ontstaan die, geïnspireerd door de vroege Piaget, hier al in de vroege jaren zeventig aandacht voor had. Maar pas toen zij in het Engels gingen publiceren, zoals Viennot¹⁹⁰, kreeg dit meer bekendheid. Onder andere over dit en ander onderzoek heb ik in 1981 op de WND-conferentie verslag gedaan, onder de titel ‘Schoolbeeld of Straatbeeld?’¹⁹¹.

Dat de tijd rijp was voor iets nieuws bleek wel uit het feit dat, toen het deksel eenmaal van de put was, er een stortvloed van publicaties ontstond over alle begripsproblemen die je je maar kan voorstellen¹⁹². Zodra je bij leerlingen, van alle leeftijden, van alle begaafdheden en in alle landen, iets onder de oppervlakte begint te vragen, dat wil zeggen als je op zoek gaat naar hun begripsmatige inzicht, blijkt dit gewoonlijk verschrikkelijk tegen te vallen. En dat wijst dus op ‘iets diepers’! Ook in ons land is zulk

¹⁹⁰ L. Viennot (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 1, 205-221.

¹⁹¹ P.L. Lijnse (1981). Schoolbeeld of straatbeeld: over onderzoek naar begripsmoeilijkheden bij het leren van mechanica. Verslag WND-conferentie *Zoeklicht op de mechanica*, 56-80.

¹⁹² R. Duit (2009). *Bibliography Students' and Teachers' Conceptions and Science Education*. Kiel: IPN.

onderzoek uitgevoerd met soortgelijke uitkomsten. Dat betekent dus dat de aard van het gegeven onderwijs, contexten of niet, daarin geen belangrijke factor is. Maar wat minstens zo'n verrassende uitkomst was, is dat docenten vaak onvoldoende idee hadden (of hebben?) van het feitelijke niveau van inzicht van hun leerlingen¹⁹³. Ik herinner me nog levendig de keren dat als ik een docent medewerking vroeg om in zijn klas een vragenlijstje, of interviews, af te kunnen nemen, hij weliswaar die medewerking graag toezegde, maar, bij het zien van de 'simpele' vraagjes, er tevens aan toevoegde dat hij het nut er niet zo van inzag. Zijn leerlingen zouden daar volstrekt geen moeite mee hebben. Hij had het immers goed en duidelijk en zonder merkbare problemen behandeld! Dit demonstreert trouwens de noodzaak om de te gebruiken terminologie te preciseren. Het allereerste buzz-woord, in dit verband, was *misconcepties*, maar dat is te ongenueanceerd. Het is immers een heel andere zaak of we het hebben over de ideeën van leerlingen over een onderwerp of begrip *voordat* dit op school überhaupt aan de orde is geweest, of dat we het hebben over leerlingideeën *nadat* ditzelfde begrip uitvoerig behandeld is. In het laatste geval is het, in ieder geval vanuit het standpunt van de docent, terecht te spreken van *misconcepties*. Het onderwijsdoel is dan niet gehaald. En de leerling heeft de onderwezen theorie, om wat voor mogelijk goede redenen ook, misvormd in zijn hoofd opgeslagen. In het eerste geval is het beter om te spreken van *preconcepties*. Maar er zijn meer mogelijkheden. Met de termen 'intuïtieve begrippen of leefwereldbegrippen', wordt al een optie genomen op hun oorsprong. Dit geldt min of meer ook voor de term 'spontane redeneerwijzen', waarmee niet zozeer een mogelijke misvatting over een bepaald begrip, als wel een algemenere manier van redeneren wordt bedoeld. Ook worden termen als 'alternatieve denkkaders', of 'alternatieve theorieën' gebruikt, maar daar werd al snel tegenin gebracht dat deze mogelijk een te sterke samenhang zouden suggereren in de denkpatronen waar het om gaat. Maar laat ik nu eerst een aantal voorbeelden geven ter illustratie. Het gaat me daarbij allerminst om volledigheid, maar om het laten zien van de problematiek. Mijn voorbeelden hebben betrekking op onderwijs over mechanica, energie, deeltjes en ioniserende straling.

8.2 Over pre- en misconcepties en hun oorsprong

8.2.1 Leerlingen en mechanica

Verreweg de meeste onderzoeks aandacht heeft de mechanica gekregen, omdat dit nu eenmaal bij uitstek een als moeilijk ervaren onderwerp is. Zou dat nu, bij nader inzien, niet juist ook te maken kunnen hebben met de invloed van zulke onderschatte preconcepties? Zoals bijvoorbeeld blijkt uit de antwoorden op de vraag over 'een jongleur die zes identieke ballen in de lucht houdt' (figuur 71). Op een gegeven moment

¹⁹³ D. van Genderen (1989). *Mechanica-onderrwijs in beweging*. Utrecht: WCC.

H.M.C. Eijkelhof (1990). *Radiation and Risk in Physics Education*. Utrecht: CD-β/IVLOS.

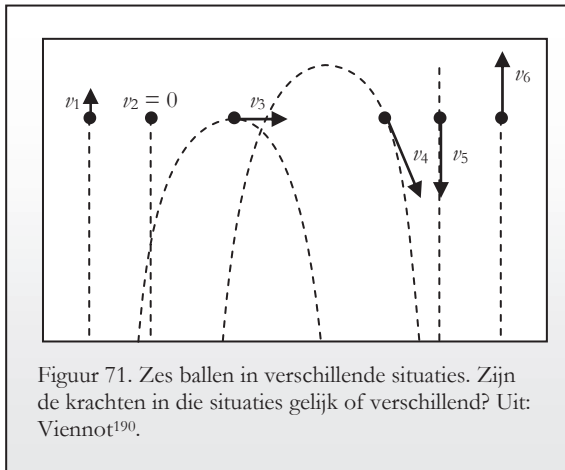
A.E. van der Valk (1992). *Ontwikkeling in Energieonderrwijs*. Utrecht: CD-β.

J.A. Dekker (1993). *Wendbaarheid in beweging*. Amsterdam: CMA.

P. Dekkers (1997). *Making Productive Use of Student Conceptions in Physics Education*. Amsterdam: VU.

zijn ze allemaal net op gelijke hoogte, maar met verschillende snelheden. Daarover formuleerde Viennot een vraag, zo simpel dat ze hem nauwelijks durfde stellen: zijn de krachten die op die zes ballen werken, op dat moment nu wel of niet gelijk (afgezien van wrijving)?

Deze vraag, tezamen met soortgelijke varianten, legde ze voor aan verschillende groepen leerlingen en (natuurkunde)studenten, uit het laatste jaar van het voortgezet onderwijs en het eerste jaar van de universiteit. Steeds gaf ruwweg 50% van deze groepen als antwoord dat de krachten, in die zes situaties, *niet* gelijk zijn. Omdat hier sprake is van groepen die wel degelijk mechanica hebben gehad, zouden we hier dus kunnen spreken van een misconceptie. Bij nadere analyse van de antwoorden en de argumenten, blijkt er een dominante oorzaak aan ten grondslag te liggen, een fundamentele pre-conceptie, waar de respondenten kennelijk niet los van hebben kunnen komen. Het is het idee



‘kracht’ moet werken in de richting van die beweging, zeker als het object tegen de zwaartekracht in omhoog beweegt. Een ‘kracht’ die langzaam wordt ‘opgebruikt’, totdat het object zijn hoogste punt heeft bereikt en de snelheid nul is geworden. Een idee dat we trouwens allemaal kennen, want er moet toch ‘iets’ zijn (een ‘kracht?’), dat zo’n object omhoog stuwt? Natuurlijk, de historici onder ons zullen onmiddellijk wijzen op de overeenkomst met middeleeuwse en Aristotelische mechanica, maar dat is slechts ten dele juist. Viennot concludeert dat haar studenten spreken over de ‘kracht *op* de bal’, netjes volgens Newton, maar ook over de ‘kracht *van* de bal’, die deze als het ware heeft meegekregen van de werper en die, omhooggaand, langzaam wordt opgebruikt.

Fysisch gezien lijkt er dus een verwarring op te treden tussen zaken als kracht, impuls en kinetische energie. En het zijn de getekende snelheidspijlen die deze gedachtegang lijken te triggeren, want als inhoudelijk dezelfde vraag in een niet-grafische vorm wordt gesteld, is de beantwoording door deze groepen studenten wel grotendeels correct. En zo zijn er legio mechanica-problemen aan leerlingen voorgelegd. Van Genderen¹⁹³ heeft zich, wat dat betreft, gericht op onderzoek naar het inzicht in de derde wet van Newton. Daartoe gebruikte hij een vragenlijst, die hij bij 3VWO en 4VWO leerlingen heeft afgenomen, dus voor en na het mechanicaonderwijs. Figuur 72 illustreert de gekozen vraagvorm, terwijl figuur 73, in gecondenseerde vorm, de uitkomsten weergeeft. En hoe je het ook wendt of keert, deze uitkomsten zijn inderdaad illustratief voor de grote hoeveelheid leerlingen die na het mechanicaonderwijs blijven zitten met ernstige misconcepties.

- 6 Een auto trekt een caravan met constante snelheid voort over een vlakke weg. Behalve de trekkracht werken er op de caravan ook wrijvingskrachten (uitge oefend door het wegdek en door de lucht).

1e bewering: 'De trekkracht is groter dan de wrijvingskrachten.'

- Ben je het hiermee eens? ja/nee

Motiveer je antwoord:

.....

2e bewering: 'De kracht waarmee de caravan aan de auto trekt is even groot als de trekkracht van de auto op de caravan.'

- Ben je het hiermee eens? ja/nee

Motiveer je antwoord:

.....


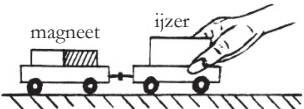




Figuur 72. Een vraag uit de vragenlijst van Van Genderen¹⁹³.

Nu is het verleidelijk om de antwoorden op de gestelde vragen (figuur73) ieder afzonderlijk te beoordelen, maar beter is om te kijken naar de onderliggende structuur in de vragenlijst. Van Genderen heeft zich gericht op problemen met twee fysieke regels, die vaak verward worden, namelijk 'actie en reactie' en 'kracht en tegenkracht'. In het eerste geval gaat het om twee gelijke, tegengesteld gerichte krachten die op *verschillende* voorwerpen werken; in het tweede geval gaat het bij eenparige beweging om gelijke en tegengesteld gerichte krachten op *eenzelfde* voorwerp. Hij komt dan, op grond van de beantwoording, tot de volgende hypothetische conclusies:

- 1 Bij de eenparige beweging wordt de relatie tussen kracht en tegenkracht verkeerd beoordeeld, en wel op grond van het denkbeeld 'overwinnen van tegenwerking'.
- 2 Bij de wisselwerking tussen twee zeer ongelijke voorwerpen wordt de relatie tussen actie en reactie verkeerd beoordeeld, en wel door het denken in termen van 'sterk-zwak', of zelfs 'actief-passief'.
- 3 Bij de wisselwerking tussen twee bewegende voorwerpen, waarvan het ene het andere duwt of trekt, worden actie en reactie verward met kracht en tegenkracht; dit leidt tot een verkeerde beoordeling op basis van 'overwinnen van tegenwerking'.
- 4 Bij evenwichtssituaties die associaties oproepen met strijd of dwang, wordt de relatie tussen kracht en tegenkracht en/of de relatie tussen actie en reactie verkeerd beoordeeld op grond van het denken in termen van 'wie wint'.

Of deze interpretatie helemaal juist is, is nog de vraag, ik ga daar straks verder op in, maar dat zou dan alleen maar illustreren dat het interpreteren van dit soort antwoorden geen eenvoudige zaak is. Uit deze, en soortgelijke resultaten van anderen, concludeert Van Genderen dat leerlingen over een alternatief interpretatiekader lijken te beschikken, dat tijdens het mechanicaonderwijs als het ware interfereert met het Newtoniaanse.

	I	II
1 'In een waterstofatoom draait het elektron in een cirkelbaan om de kern.' Kracht die de kern op het elektron uitoefent en kracht van het elektron op de kern.	51	70
2 'Ik probeer een kist over een horizontale vloer te schuiven, maar ik krijg er geen beweging in.' Kracht van mij op de kist en kracht die de vloer op de kist uitoefent.	9	18
3 'Ik sta op een plank over een sloot, zodat de plank doorbuigt.' Kracht van mij op de plank en kracht van de plank op mij.	14	66
4  'Een auto botst frontaal tegen een stilstaande auto van hetzelfde type.' Indeu-king van de stilstaande auto en indeuking van de rijdende.	29	52
5  'Twee karretjes die aan elkaar gekoppeld zijn kunnen wrijvingsloos over een hori-zontale rijbaan bewegen.' Na loslaten gaan de karretjes /naar rechts/niet/naar links/ rijden.	72	88
6 'Een auto trekt een caravan met constante snelheid voort over een vlakke weg.'		
a) Kracht waarmee auto trekt aan caravan en wrijvingskrachten op de caravan.	17	20
b) Kracht waarmee auto trekt aan caravan en kracht waarmee caravan aan auto trekt.	15	62
7 'Ik leun met mijn rug tegen een muur.' Kracht waarmee ik duw en kracht die de muur op mij uitoefent.	74	84
9 'Bij het kogelstoten oefen ik met mijn hand een kracht uit op de kogel.' Kracht die ik op de kogel uitoefen en kracht die de kogel uitoefent op mijn hand.	23	34
10  'Twee schaatsers die even zwaar zijn staan eerst stil op het ijs. Op een bepaald mo-ment geeft de linker schaatser de rechter een duw.' Afstand die de linker resp. de rechter heeft afgelegd na 2 seconden.	73	91
11  'Een grote en een kleine magneet liggen met de noordpolen naar elkaar toe, zodat ze elkaar afstoten.' Kracht die de grote resp. de kleine magneet uitoefent.	9	31
13 'Op weg naar school is de ketting van mijn fiets gebroken. Nu laat ik me duwen door een vriendin.' Kracht waarmee ik geduwd word en kracht die ik uitoefen.	14	24
15 'De maan blijft in haar baan om de aarde door de aantrekkingskracht van de aarde.' Kracht die de aarde resp. de maan uitoefent.	38	66
16 'Op een voorwerp werken twee krachten in tegengestelde richtingen. Het voorwerp beweegt met een constante snelheid naar rechts.' De kracht naar rechts en de kracht naar links.	16	16
17 'Een voorwerp V oefent een kracht uit op een voorwerp W. Is het in zo'n situatie altijd zo dat W een even grote kracht op V uitoefent?' Bij antwoord 'nee' konden een of meer redenen worden gekozen.	9	21

Figuur 73. Verkorte versie van een vragenlijst over de derde wet van Newton, met de percentages juiste antwoorden in groep I (3 VWO) en groep II (4 VWO). Uit: D. van Genderen (1989), *Mechanica-onderwijs in beweging*.

1 Tegenover het traagheidsprincipe staat dan: als ik op een voorwerp geen 'kracht' uitoefen, blijft het in rust of komt het vanzelf tot rust.

2 Een voor de hand liggende uitbreiding van het vorige is: om een voorwerp met constante snelheid in beweging te houden, moet ik een constante 'kracht' uitoefenen in de bewegingsrichting.

Of, tegenover $F = ma$ staat: ' $F \sim v$ ', dat wil zeggen de snelheid van een voorwerp is groter naarmate ik er een grotere 'kracht' op uitoefen.

3 Tegenover het actie-reactieprincipe staat: als ik op een voorwerp een 'kracht' uitoefen, dan kunnen daardoor tegenwerkende 'reactiekrachten' optreden; om het voorwerp te laten bewegen moet ik die 'reactiekrachten' overwinnen.

En daarmee ligt dan tegelijk de constructivistische kern op tafel. Immers, als dit juist is, dan redeneren leerlingen in eerste instantie vanuit dit alternatieve kader. Alle informatie over nieuwe, Newtoniaanse ideeën worden vanuit het al aanwezige kader geïnterpreteerd en krijgen van daaruit betekenis. En als deze nieuwe informatie daar onvoldoende rekening mee houdt, hoeft het geen verwondering te wekken dat er problemen, veelal als mengvorm, ofwel misconcepties zullen ontstaan.

Zoals gezegd, de oorsprong van dit alternatieve kader ligt grotendeels in onze alledaagse fysieke ervaringen met 'krachten', zelfbewegers (uiteraard met onszelf als belangrijkste) en beweging. Kern is dat het leefwereldwoord 'kracht' niet gelijk gesteld moet worden aan het fysische woord kracht. Dat blijkt ook uit de omgangstaal. We spreken immers van 'krachten' die stoffen of lichamen *bezitten*, zoals de 'spierkracht' van mens of dier, de 'stuwkracht' van een motor, de 'groei-kracht' van een plant, of de 'geneeskracht' van een medicijn. Terwijl die eigen fysieke ervaring misschien nog wel het meest tot uitdrukking komt in onze 'lichaamskracht': 'ik moest al mijn kracht gebruiken', 'mijn krachten waren uitgeput', 'ik kwam weer op krachten', 'ik spaarde mijn krachten'. Zoals Van Genderen opmerkt, de context van dit soort uitdrukkingen is altijd een doelgerichte *inspanning*, het bereiken van een bepaald doel tegen de weerstanden van de omgeving in. En de mate waarin ik zulke inspanning kan leveren, bepaalt het besef van de 'kracht' die ik al of niet heb, van de mate waarin ik sterk of zwak ben.

In deze attendering op de term 'inspanning' ligt, denk ik, ook de sleutel voor een verdere interpretatie van de leerlingantwoorden. Immers de opmerking dat het leefwereldwoord 'kracht' niet dezelfde betekenis heeft als het fysische woord kracht, geeft nog niet aan wat het dan wel betekent. Zou dat nu niet net zoiets als 'inspanning' kunnen zijn? Door zijn focusering op de 'derde wet' besteed Van Genderen geen aandacht aan het verschil tussen 'op gang brengen' en 'op gang houden'. In onze *beleving* van bewegingen maken we daar ook geen onderscheid tussen. We moeten 'kracht zetten', een inspanning leveren, om iets op gang te brengen (versnellen dus!), en daarbij moeten we, voor ons gevoel, inderdaad de weerstand/tegenwerking van dat iets overwinnen. Dat *gevoel* verandert niet echt als het 'op gang brengen' overgaat in 'op gang houden'. Nog steeds moeten we een inspanning leveren, ook al is die nu wat minder geworden. En als we het op gang houden met een grotere snelheid willen doen, is de inspanning die we moeten leveren ook groter. Let wel, *wij* moeten ons

inspannen, maar datgene wat we bewegen spant zich niet in, dat is groot en zwaar en biedt alleen passief weerstand. Ik denk dat dit het onderliggende patroon is van Van Genderen's alternatieve kader. En eigenlijk is daar dus niks mis mee!

8.2.2 Energie tussen leefwereld en vakstructuur

Uit het voorgaande blijkt direct dat er in de omgangstaal een nauwe relatie is tussen 'kracht' en 'energie'. Uitdrukkingen als 'ik heb geen energie meer', 'ik kreeg weer energie', 'ik spaarde mijn energie', etc., betekenen eigenlijk hetzelfde als de uitdrukkingen met het woord 'kracht'. Als persoon gaat het in de leefwereld om het kunnen leveren van die doelgerichte inspanning, waarvoor je 'energie' of 'kracht' nodig hebt, die dan verbruikt wordt en dus op kan raken, maar door rust ook weer aangevuld kan worden. Het ligt voor de hand dat zulke leefwereldbeelden ten aanzien van het begrip 'energie' ook hun rol spelen bij leerlingen. In de literatuur zijn deze denkbeelden dan ook beschreven als^{193,194}: 'energie als iets menselijks', 'energie als een soort kracht/oorzaak', 'energie als klaarblijkelijke activiteit'. Naar mijn idee zijn deze alle drie in meer of mindere mate antropomorf van karakter. Van de eerste twee hebben we dat al gezien, terwijl de derde zou kunnen samenvallen met het feit dat beweeglijk zijn vaak wordt geïdentificeerd met energiek zijn. Daarnaast zijn er ook meer 'materieële/functionele' denkbeelden als 'energie als een soort brandstof', 'energie als iets nuttigs'. Het worstelen van leerlingen met dit soort denkbeelden tijdens het onderwijs over energie zie je bijvoorbeeld in de volgende protocolfragmenten¹⁹³. Daarin moeten ze voor hen op zich bekende situaties opeens gaan beschrijven met behulp van voor hen 'vreemde' begrippen, zonder dat het doel daarvan voor hen duidelijk zal zijn. Ofwel, je ziet leerlingen bezig met het 'construeren' van voor hen zinvolle betekenissen.

Situatie 1: Een groep leerlingen discussieert over de vraag of het juist is dat de kinetische energie van een omhoog geschoten kogel wordt omgezet in zwaarte-energie.

Kees Wat is precies zwaarte-energie, heb ik nooit geweten?

Rian Ja, d'r werken toch twee energieën op, eentje de zwaarte-energie en eentje bewegingsenergie.

Toos Ja, zwaarte... want zwaarte is er altijd.

Rian Zwaarte-energie, dat is F_z keer Δs keer $\cosinus a$.

Toos Nee, dat is arbeid.

Rian Ja, dat was toch energie, arbeid is toch joule en energie is toch ook joule?

Toos Ik dacht, als ie omhoog gaat is bewegingsenergie, en als ie omlaag gaat zwaarte-energie.

Rian Maar dan wordt de bewegingsenergie niet omgezet in zwaarte-energie tijdens het omhoog gaan, maar in het hoogste punt.

Kees Volgens mij als dat ding valt, is dat ook gewoon bewegingsenergie.

Rian Maar dan negatief, ja.

Hub Volgens mij bestaat er geen zwaarte-energie.

¹⁹⁴ P.L. Lijnse (1990). Energy between the lifeworld of pupils and the world of physics. *Science Education*, 74, 571-583.

Natuurkunde-didactisch onderzoek

- Rian Dat zal best wel bestaan, maar ik weet niet precies wat dat is, zwaarte-energie, iets anders dan zwaartekracht volgens mij.
Toos Zwaartekracht is er altijd volgens mij, zwaarte-energie niet.

Situatie 2: Ria begrijpt niet waarom een automobilist vóór een botsing al bewegings-energie heeft en stelt daarover een vraag aan de leraar (L1).

- Ria Ja, en hoezo is het dan bij die automobilist, waarom heeft ie bij die botsing dan wel al bewegingsenergie?
Job Omdat ie aan het rijden is.
LR1 Omdat iets moet rijden, anders botst het zo moeilijk.
Ria Maar die automobilist die zit toch stil?
LR1 Je weet helemaal niet wat een botsing is? Die automobilist, die heeft bewegings-energie.

Situatie 3: Een vallende bal

- Joop De bal heeft energie nodig om omhoog te komen. Op een gegeven moment is die op en wordt de bal weer aangetrokken door de aantrekkingskracht van de aarde.

Situatie 4: Een karretje op een achtbaan

- LR2 Zo'n karretje in een achtbaan, daar ben je het wel mee eens dat als tie naar beneden gaat dat ie energie heeft?
Koen Nee, dan krijgt ie snelheid.
LR2 En dat is iets anders dan energie?
Koen Ja, want (... helaas onverstaanbaar)
LR2 Jij zegt, het is niet energie die in die kar zit, als die kar in het laagste punt is, dan sjeest ie daar dus voorbij en dan gaat ie weer omhoog, daar is toch energie voor nodig?
Koen Ja, maar daar gaat (onverstaanbaar) de snelheid... die energie wordt ontwikkeld in de snelheid.
LR2 Energie is ergens in die snelheid, alleen noem je het geen energie, maar we noemen dat snelheid, het is geen energie.
Koen Nog niet, als tie omhoog gaat, dan wel.
LR2 Dan zie je duidelijker dat het energie is, je weet dat het moeite kost om iets op te tillen, dus d'r is kennelijk energie voor nodig. D'r is een soort afspraak gemaakt dat je vanwege die snelheid een bepaalde hoeveelheid energie kunt toekennen aan dat karretje (en legt verder de formule voor kinetische energie uit).

Situatie 5: Warmtecapaciteit van een CV-installatie

- Joop Warmtecapaciteit, dat is wat een voorwerp afstaat nadat hij opgewarmd is.
Sita Nee, de warmte die hij afstaat of opneemt bij een temperatuurstijging of daling.
Joop Wat dan? Wie afgeeft? Nee, nadat hij opgewarmd is.
(Ze worden het niet eens. Als de leraar er is, vraagt Joop wat warmtecapaciteit is. De leraar vraagt om een toelichting.)
Joop Als ie een kleine warmtecapaciteit heeft, houdt dat in dat ie veel warmte nodig heeft om eerst warm te worden, dus zeg maar dat die warmte 100 is, is het dan zo dat ie 80% van die warmte nodig heeft om zelf warm te worden en 20% van de warmte afstaat?

Natuurlijk stelt dit soort 'worstelingen' van leerlingen wel de nodige vragen bij het gegeven onderwijs. Zo gaat de docent (LR1) volstrekt niet in op het probleem van Ria, waarschijnlijk omdat hij dat probleem niet begrijpt of niet serieus neemt. Docent LR2

is zo slordig in zijn taalgebruik, dat hij eerder inspanningsdenkbeelden lijkt te versterken. Dat illustreert dat, of we het nu hebben over mechanica of energie, de subtiliteiten van natuurkundige begripsvorming om een zorgvuldige aanpak vragen, waarbij de interferentie vanuit de leefwereld op een adequate wijze wordt gehanteerd. Over de protocolfragmenten valt natuurlijk veel in detail te zeggen, maar de grote lijn lijkt te zijn dat er 'iets' ('energie') nodig is om een klus te klaren (een bal of een karretje dat omhoog gaat, een verwarming die opgewarmd moet worden). Laat ik proberen dit wat verder uit te werken.

'Energie' is nodig om 'iets te laten gebeuren wat niet uit zichzelf gebeurt'. Voor iets dat vanzelf gebeurt (vallen, afkoelen) is geen 'energie' nodig, dat gebeurt gewoon, dat is vanzelfsprekend. Al krijgt een vallende bal of een dalend karretje wel snelheid die eventueel weer gebruikt kan worden voor een nieuwe klus. Wie of wat is in staat tot zo'n klus, ofwel tot het leveren van 'energie/kracht'? Daarvoor komen drie dingen in aanmerking, een levend object, een bewegend object en een warm object. Die zijn in staat dat 'iets' ('kracht/energie') te leveren door inspanning, beweging of warmte. Ofwel, de drie klassieke primaire 'actieve principes'. Al moeten we hier tegenwoordig, denk ik, radioactiviteit aan toevoegen. Niet alleen mensen of dieren kunnen iets laten gebeuren, ook iets wat beweegt, bijvoorbeeld een weggeschoten voetbal, kan iets laten gebeuren wat niet uit zichzelf gebeurt, bijvoorbeeld een ruit breken. Een voetballer, als veroorzaker, draagt zijn inspanning van het trappen tijdens de trap (oorzaak) over aan de bal, die krijgt daardoor 'kracht' in de vorm van snelheid (effect) en vanwege die snelheid en zijn gewicht veroorzaakt die bewegende bal (oorzaak) bij een botsing de breuk van de ruit (effect); de bal verliest daardoor het grootste deel van zijn snelheid en valt, tezamen met de brokstukken, vanzelf op de grond, al kunnen ze door hun valsnelheid daarbij nog wel enige schade veroorzaken. Een keten van oorzaken en gevolgen, met een begin en een einde.

Een warm object, een vlam, kan iets anders verwarmen (klus). Zo heb je om een pan water te verwarmen, 'op temperatuur te brengen', een grote vlam nodig, maar om hem 'op temperatuur te houden' volstaat een veel kleinere vlam (zie Joop in het laatste fragment). Het feit dat die grote hoeveelheid warmte die er in gestopt moet worden voor het op temperatuur brengen, weer vrijkomt bij het afkoelen, is niet relevant, want dat afkoelen is geen deel van de klus. Die mogelijkheid om iets te verwarmen ontstaat door verbranding van hout/olie/gas. Olie/gas/voedsel kan niet iets uit zichzelf laten gebeuren, maar er zit kennelijk wel 'iets' in dat bij verbranding apparaten/dieren/mensen 'energie' kan geven, dat wil zeggen in staat stelt dingen te laten gebeuren. Het zijn dus 'energiebronnen'. Of ontstaat die 'energie', dat vermogen, pas door die verbranding? Hoe dan ook, het blijven bronnen. Ook elektriciteit, als secundair 'actief principe', kan iets laten gebeuren, de 'stroom/spanning' geeft 'energie' aan een apparaat en is daarmee de oorzaak van wat gebeurt. Ik meen hiermee een kern van het leefwerelddenken over energie te hebben beschreven, dat elke leerling (en elk mens) als vanzelfsprekend dagelijks gebruikt. Maar naast deze wijze van praten over persoonlijke energiesituaties in de leefwereld, is er ook een manier ontstaan om te praten over maatschappelijke energiesituaties. Het gaat ruwweg als volgt. Het kenmerkende is dat er wordt uitgegaan van een energieprobleem. Er dreigt een tekort aan 'iets', aan 'ener-

gie', dat wil zeggen aan grondstoffen, energiebronnen, of brandstoffen. Omdat 'energie onmisbaar is', moeten er dus allerlei maatregelen getroffen worden. Dit tekort vindt zijn oorzaak in het opraken, het niet langer win- of beschikbaar zijn, dan wel het niet langer betaalbaar zijn van het 'iets'. De centrale gedachte is echter steeds: voor onze economisch noodzakelijke, technische voorzieningen hebben we energie nodig, en die raakt op omdat we die verbruiken. Maar wind, zon en water raken niet op en dus ook niet hun 'kracht/energie'. De beschikbare energie (olie, gas, wind, etc.) moet eerst worden omgezet in bruikbare/nuttige energie. Dit kan maar met een beperkt rendement, zodat er veel energie, wellicht onnodig verloren gaat. Bij kwantificering gaat het steeds om hoeveelheden 'energie' die beschikbaar zijn, dan wel opgewekt, verbruikt, opgeslagen of bespaard kunnen worden. Energiebesparing komt in feite neer op vermindering van het gas/olie-gebruik, gekoppeld aan een lagere energierekening. 'Energiebehoud' betekent hier zuinig zijn met 'energie'.

Naast deze ruwe karakterisering, moet er nog een ander aspect van de leefwereld genoemd worden, namelijk wat in het Duits zo fraai onze manier van 'zur Welt sein'¹⁹⁵ genoemd wordt. In de leefwereld handelen we vanuit onze 'natürliche Einstellung', geleid door een 'pragmatisches Motiv'. Dit is ook richtinggevend ten aanzien van ons handelen met energie in de leefwereld. Het natuurkundige denken ten aanzien van energie, althans in de fundamentele natuurkunde die vooralsnog model staat voor de schoolnatuurkunde, vindt echter plaats vanuit een 'theoretische Einstellung', geleid door een 'verklaringsmotief' gericht op unificatie, dat wil zeggen de wil de natuur te verklaren vanuit een zo sterk mogelijk geünificeerd theoretisch standpunt. En dus kun je je afvragen wat deze beide 'werelden' elkaar eigenlijk te zeggen hebben.

In het geval van 'energie en leefwereld' lijkt het niet zozeer te gaan om voornamelijk kinesthetische ervaringen, zoals in de mechanica, maar veeleer om hoofdzakelijk semantische ervaringen. Het woord energie is tenslotte van oorsprong een fysische term. Helmholtz schreef immers nog "Über die Erhaltung der Kraft". Aan het ontstaan van het energiebegrip liggen drie wortels ten grondslag¹⁹⁶. Als eerste de mechanische traditie, waarin het behoud van Leibnitz's 'vis viva' (levende kracht) van bewegende lichamen evolueerde tot behoud van mechanische energie. Als tweede de 'warmte-traditie' met enerzijds de ambachtelijke inzichten in de werking van apparaten, culminerend in de stoommachine, en aan de andere kant de theoretische inzichten over 'behoud van warmtestof' (Black), over warmte als beweging (Rumford), warmtemachines (Carnot) en het mechanisch warmte-equivalent (Joule). En als derde een fysiologische traditie, waarin werd gezocht naar een relatie tussen 'levenskrachten' en de wetten van de levenloze materie, uitmondend bij Mayer in het idee van ketens van 'Ursache' en 'Wirkung', waarachter een behouden 'Kraft' schuilgaat. Iets soortgelijks hebben we hierboven gezien. En uit dit alles is uiteindelijk het moderne, uiterst abstracte begrip van 'energie als behouden toestandsgrootheid van een systeem' ontstaan. Opvallend hoe we deze wortels kunnen herkennen in het geschetste leefwerelddenken over energie. Ook het idee van energie als allesomvattend levensprincipe (alles is 'kosmische' ener-

¹⁹⁵ A. Schutz & T. Luckmann (1979). *Strukturen der Lebenswelt*. Frankfurt: Suhrkampf.

¹⁹⁶ Y. Elkana (1974). *The Discovery of the Conservation of Energy*. Cambridge: Harvard University Press.

gie) speelt tegenwoordig nog steeds een weliswaar uiterst vage, maar daarom nog niet minder onverwoestbare rol.

Hoe anders is het natuurkundige denken over energie¹⁹⁷. “*Energy has been defined because it is conserved. Any definition of energy that is not rooted in its conservation property is false at its core.*” Energie is in de natuurkunde een puur abstract idee en niet iets substantieels “*of which anyone can be aware by commonplace experience, however often the word is used or misused.*” Dat idee ontleent zijn betekenis aan de mathematische structuur waar het deel van uitmaakt. “*What we have discovered about energy is that we have a scheme with a sequence of rules. From each different set of rules we can calculate a number for each different kind of energy. When we add all the numbers together, from all the different forms of energy, it always gives the same total (...)* It is abstract, purely mathematical, that there is a number such that whenever you calculate it, it does not change. I cannot interpret it any better than that,” aldus Feynman¹⁹⁷. Het begrippenkader rond energie is mathematisch consistent, maar conflictloze verwoording vergt een zeer precieze, scherpe definiëring en afbakening van alle begrippen. Heisenberg¹⁹⁷ eist in dit verband ‘*de uiterste ondubbelzinnigheid en precisie van de spreektaal.*’ Desalniettemin is volgens hem deze uiterste nauwkeurigheid ‘*uiteindelijk slechts met behulp van de mathematische abstractie mogelijk.*’ De zin van deze uiterste nauwkeurigheid kan alleen ontleend worden aan de interne consistentie van het begrippenkader zelf en daarmee aan de unificerende verklarende kracht van dit kader. In de verwoording van deze begrippen is deze ‘uiterste ondubbelzinnigheid’ weliswaar principieel niet onmogelijk, maar praktisch wel. Het leidt immers tot uiterst omslachtig en onleesbaar taalgebruik. Zo zou de stelling te verdedigen zijn dat het praktisch onmogelijk is om fysisch consistent en correct over begrippen als energie en warmte te spreken (bovenstaande docent L2 illustreert dit maar al te duidelijk). Dit heeft dan ook sommigen gebracht tot het, mijns inziens, onrealistische voorstel het woord ‘warmte’ überhaupt te verbannen uit het natuurkundeonderwijs. In de vaktaal, dat wil zeggen in de communicatie van fysici onder elkaar, is dit onvermijdelijk slordige taalgebruik geen probleem, omdat men dan altijd weer in staat is om, door terug te grijpen op het mathematisch formalisme, deze taaluitingen te preciseren. Dit vooronderstelt uiteraard kennis van dit formalisme en dat is nu juist bij leerlingen nog niet het geval. Niet alleen kunnen zij daardoor hun taaluitingen niet preciseren, of die van anderen verstaan, de zin van zo’n precisering kan hen ook überhaupt niet duidelijk zijn. Ik moet het vanuit de vakstructuur gezien dan ook eens zijn met Warren¹⁹⁷ die over energie het volgende schrijft: “*It is also a very difficult concept which is often taught very badly, both in ‘traditional’ and in ‘progressive’ courses.*” Maar of dit ook betekent dat “*teachers of physics should eliminate the word energy entirely from elementary teaching*”, staat toch nog even te bezien.

Solomon¹⁹⁷ ten slotte, wijst er op dat het niet de taak van het onderwijs kan zijn om het leefwerelddenken te vervangen door het natuurkundige denken. Afgezien van het

¹⁹⁷ J.W. Warren (1982). The nature of energy. *European Journal of Science Education*, 4, 295-297.

J.W. Warren (1983). Energy and its carriers: a critical analysis. *Physics Education*, 18, 209-212.

R. Feynman (1965). *The Character of Physical Law*. Cambridge: MIT Press.

W. Heisenberg (1971). *Fysica in perspectief*. Utrecht: Het Spectrum.

J. Solomon (1983). Learning about energy. How pupils think in two domains. *European Journal of Science Education*, 5, 49-59.

feit dat dat onmogelijk zou zijn, is het ook niet aan de orde omdat er met het leefwerelddenken in feite weinig mis is. Ook fysici hanteren dit in hun leefwereld. In huidige termen geformuleerd, zou je kunnen spreken van drie ‘authentieke praktijken’ (of contexten), een persoonlijke, een maatschappelijke en een natuurkundige praktijk. Een leerling moet zich in alle drie de praktijken, op adequate wijze, sociaal kunnen bewegen en dus ook de daarbij horende ‘talen’ kunnen spreken. En daartussen flexibel kunnen switchen en zo nodig kunnen ‘vertalen’. Later kom ik terug op de vraag hoe een passende onderwijsuitlijning dit zou kunnen bereiken, of op zijn minst bevorderen.

8.2.3 Materie, deeltjes en modellen

8.2.3.1 Inleiding

In hoofdstuk 1 heb ik al geciteerd uit het voorwoord van deel 1 van het toenmalige ‘Natuurkunde op Corpusculaire Grondslag’, over de introductie van een deeltjesmodel, waarbij ik de cryptische opmerking maakte dat er toen kennelijk nog geen aandacht was voor misconcepties. Nu is dan de gelegenheid gekomen om deze opmerking ook met argumenten te onderbouwen, ook al heb ik bij de bespreking van Piaget daartoe al een voorzet gegeven.

“*Bij de verklaring van de natuurverschijnselen gaan wij uit van de corpusculaire structuur der materie. Wij vermijden daardoor dat onze leerlingen, die slechts in beelden kunnen denken, zich een onjuist beeld vormen van deze structuur. Onze ervaring is, dat de leerlingen op die manier een goed inzicht krijgen in de natuurverschijnselen...*” Dit was het eerste deel van dat citaat. Daarvoor geldt dat het lijkt alsof de schrijvers uitgaan van ‘als je het ziet, dan snap je het’. Terwijl we toch, sinds Cruyff, weten dat het eerder een kwestie is van ‘als je het snapt, dan zie je het!’ Dat geldt zeker voor hun uitspraak dat de kinetische eigenschappen van de

ingevoerde moleculen “*vrij eenvoudig in de klas kunnen worden aangetoond, of waarvan we de juistheid zonder veel moeite kunnen inzien*”. De door hen gestelde “*uiterst belangrijke vraag*” of water, net als zand en melk, al of niet uit afzonderlijke deeltjes is opgebouwd, beantwoorden ze uiteraard positief. Maar gegeven dat zij als het kleinste deeltje zand een zandkorreltje aanwijzen, en als ‘melkdeeltje’ een vetkorreltje, betekent dit dan ook dat het kleinste deeltje

If, in some cataclysm, all of scientific knowledge were to be destroyed, and only one sentence passed on to the next generations of creatures, what statement would contain the most information in the fewest words? I believe it is the *atomic hypothesis* (or the *atomic fact*, or whatever you wish to call it) that *all things are made of atoms, little particles that move around in perpetual motion, attracting each other when they are a little distance apart, but repelling upon being squeezed into one another.*

Figuur 74. Richard Feynman, 1963.

water een waterdruppeltje is? Dat zou toch wel moeten, gegeven hun definitie dat het kleinste deeltje van een stof nog alle eigenschappen van die stof heeft!

Mogen deze inleidende opmerkingen illustreren dat er ook over eventuele begripsproblemen met de invoering van deeltjes nog wel het een en ander te zeggen valt! Daartoe

zal ik eerst aandacht besteden aan materie in macroscopische zin, met fasen en overgangen daartussen. Vervolgens hoe de eigenschappen van die materie, vanuit een deeltjesmodel, door leerlingen verklaard worden en hoe we dat verklaren dan weer kunnen begrijpen. Ten slotte wil ik ook nog kijken naar wat een deeltjesverklaring eigenlijk inhoudt en naar het modelbegrip op zich.

8.2.3.2 Materie, macroscopisch gezien

Iedereen is in zijn of haar leven altijd omgeven door materie, objecten die gemaakt zijn van verschillende soorten ‘spul’¹⁹⁸. Het is onvermijdelijk dat ieder dus ook ideeën heeft ontwikkeld over wat dat ‘spul’ eigenlijk is en wat je er mee kan doen. Ideeën die noodzakelijkerwijs veel gemeenschappelijks zullen hebben, zodat we hen samenvattend kunnen beschrijven. Hayes¹⁹⁹ heeft geprobeerd zo’n gemeenschappelijke basis te schetsen van wat hij een ‘naive theory of matter’ noemt. Die gaat als volgt: *“There are different kinds of stuff: iron, water, wood, meat, stone, sand, etc. And these exist in different kinds of physical state: solid, liquid, powder, paste, jelly, slime, paperlike, etc. Each kind of stuff has a usual state: iron is solid, water is liquid, sand is powder, etc., but this can sometimes be changed. For example, many stuffs will melt if you make them hot enough (which for some things is very very hot, i.e. in practice they can’t be melted, e.g. sand; and others will burn when heated, e.g. wood or flour). Any liquid will freeze if you make it cold enough. Any solid can be powdered if you pulverise it with enough effort and determination, etc. There is no obvious standard way of changing a powder into a solid (but wetting it to get a paste, then drying the paste carefully, sometimes works). Some substances, left to themselves, decompose, i.e. change slowly into some other (useless) substance; or mature, i.e. change slowly into some other (useful) substance. Rusting and wet rot are examples of decomposition, cheese-making an example of maturation...”*

In deze beschrijving ontbreken gassen. Het heeft wat meer voeten in de aarde voordat ook die als ‘spul’ gezien worden en dan is het meestal zo dat ‘lucht’ als prototype fungeert voor alles was gas is. Daaruit kunnen we concluderen dat de gebruikelijke natuurkundige categorisering in ‘vaste stof, vloeistof, gas’ een schematisering inhoudt die zeker niet helder is vanuit de dagelijkse ervaring en daarin ook geen functie heeft. Millar²⁰⁰ schrijft over deze naieve ‘theorie’: *“I suggest this is an accurate depiction of lay views of matter; we take the properties of the matter we encounter for granted, as given features of our everyday world. Our concern is to be able to predict the behavior of these types of matter sufficiently well for us to use them to achieve various purposes. We construct for ourselves a technological theory, rather than a scientific one.”*

¹⁹⁸ P.L. Lijnse, W. de Vos, A.J. Waarlo & P. Licht (Eds.) (1990). *Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic Particles: A Central Problem in Secondary Science Education* (pp. 390). Utrecht: CD-β Press.

M.J. Vollebregt & P.L. Lijnse (1991). Kinderen over materie: een literatuuranalyse. *TD-β*, 9, 201-216.

M.J. Vollebregt & P.L. Lijnse (1992). Het onderwerp 'bouw der materie' in een aantal Nederlandse onderbouw natuurkunde-leergangen nader bekeken. *TD-β*, 10, 156-177.

M.J. Vollebregt & P.L. Lijnse (1993). Wat begrijpen leerlingen van de bouw der materie? *TD-β*, 11, 55-72.

¹⁹⁹ P.J. Hayes (1979). The naive physics manifesto. In: D. Michie (Ed.), *Expert Systems in the Microelectronic Age*. Edinburgh: EUP.

²⁰⁰ R. Millar (1990). Making sense: what use are particle ideas to children? In: P.L. Lijnse, W. de Vos, A.J. Waarlo & P. Licht (Eds.) (1990). *Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic Particles: A Central Problem in Secondary Science Education* (pp. 283-294). Utrecht: CD-β Press.

Dit sluit nauw aan bij wat Ten Voorde²⁰¹ schrijft over het spreken en handelen in wat hij noemt het contextgebied ‘gebruik en verbruik’: *“Leerlingen zijn gewoon om in het contextgebied ‘gebruik en verbruik’ materialen voor een bepaald doel te gebruiken. Die materialen bestaan immers voor zo’n doel. Ook u zult niet een tafel uit uw kamer in de open haard zetten en aansteken. Misschien hebt u wel eens een oude tafel stukgeslagen, maar dan met het doel om hem te verstoken. U maakt spaanders of houtblokken, al naargelang u ze nodig hebt als aanmaak- of brandhout.”* Hierin herkennen we weer het ‘pragmatische motief’ van de leefwereld. En dus is het niet verbazingwekkend dat we hieraan zeker geen motief kunnen ontleen om over te gaan naar een beschrijving in termen van een deeltjesmodel. Of volgt dat misschien uit faseovergangen?

Ook daarmee hebben kinderen ervaring op gedaan, en wel in het bijzonder met ijs, water en stoom. Naar de manier waarop kinderen faseveranderingen beschrijven is nogal wat onderzoek gedaan, maar de validiteit daarvan laat nog wel eens te wensen over. Ik geef daarom slechts met de nodige aarzeling hier wat resultaten. Zo werd de vraag waaruit de bellen bestaan bij koken, beantwoord met ‘warmte’, of ‘stoom’, maar ook vaak met ‘lucht’. Volgens mij is dat laatste nu juist zo’n prototypisch gebruik van het woord ‘lucht’. Lucht staat hier, denk ik, voor ‘iets’ wat gasvormig is, en we zouden een denkfout maken als we dit hier interpreteren alsof deze jonge kinderen hier echt aan lucht in ‘onze zin’ zouden denken. Bij verdamping van een laagje water op een schoteltje dachten enkele jonge kinderen dat het water *in* het schoteltje was gegaan. Anderen zeiden dat het gewoon was opgedroogd (verdwenen) of veranderd in lucht. Oudere kinderen gaven aan dat het water in de lucht was opgegaan en terug zou komen als regen.

Andersson²⁰² heeft geprobeerd deze onderzoeken over materie samen te vatten en komt dan tot de volgende conclusie: *“... a large percentage of the pupils’ answers indicate that, in everyday thinking, matter is conceived as continuous and static. There is no vacuum. Matter can, to be sure, be divided up into, for instance, grains or drops, but these particles are also seen as continuous and static. The dynamic picture of atoms and molecules in never ending motion and interaction in empty space is not accessible to the everyday observer.”*

Allereerst valt hierbij op te merken dat het opvatten van materie als ‘continu en statisch’ bepaald niet fysisch fout is. De klassieke mechanica van vaste voorwerpen, vloeistoffen en gassen doet precies dat! Die gaat uit van continue voorwerpen en dichtheidsverdelingen en van gerichte beweging van macroscopische hoeveelheden, niet van random bewegende deeltjes. De vraag wordt dus in hoeverre zo’n opvatting problemen kan geven bij het begrijpen van faseveranderingen, dan wel bij het introduceren van een deeltjesmodel.

Andersson beschrijft hoe de uitspraken van leerlingen over faseveranderingen kunnen worden ondergebracht in vier categorieën, die mede afhankelijk zijn van de vraag of leerlingen al tot het inzicht van ‘behoud van materie’ zijn gekomen (in Piagetaanse

²⁰¹ H. ten Voorde (1990). Komen tot kennis van en tot inzicht in eigenschappen van materialen en stoffen. In: K.Th. Boersma, P. Licht, P.L. Lijnse & W. de Vos (Red.), *Begripsontwikkeling in het vak natuur- en scheikunde in de basisvorming* (pp. 151-177). Enschede: SLO.

²⁰² B. Andersson (1990). Pupils’ conceptions of matter and its transformations (age 12-16). In: P.L. Lijnse, W. de Vos, A.J. Waarlo & P. Licht (Eds.), *Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic Particles: A Central Problem in Secondary Science Education* (pp. 12-35). Utrecht: CD-β Press.

termen: ‘conserveerders van materie’ zijn) en of in hun ogen een gas al ‘iets’ (materie) is. Deze categorieën zijn:

1 Verdwijning – *“Water was spilled on the floor. After some time the floor was dry. What happened to the water? Where can it be found? 60% of the five-years-old answered that the water had disappeared. The popularity of this view drops quickly between 6 and 7 years.”*

2 Verplaatsing – *“Somewhat older children answered that the water penetrates the floor.”* De achtergrond hiervan zou zijn dat deze kinderen al wel ‘behoud van vloeistof’ zouden hanteren, *“but do not conceive air as something permanent, that is, they have not constructed the idea that matter may exist in an unseen form. Therefore, the idea of evaporation is not within their reach. They express a view that is in line with their conservation reasoning.”*

3 Modificatie – *“When, besides being able to conserve amount of liquid, the children conceive air as something existing permanently, they explain the disappearance of water by saying that it changes into vapour (...). Water is modified into water vapour. The popularity of this view increases with age, reaching 60% at twelve.”*

4 Transmutatie – Een nogal problematische categorie, naar mijn idee, die meer aansluit bij uitspraken over chemische veranderingen (een vijfde categorie). Ik laat hem daarom oningevuld.

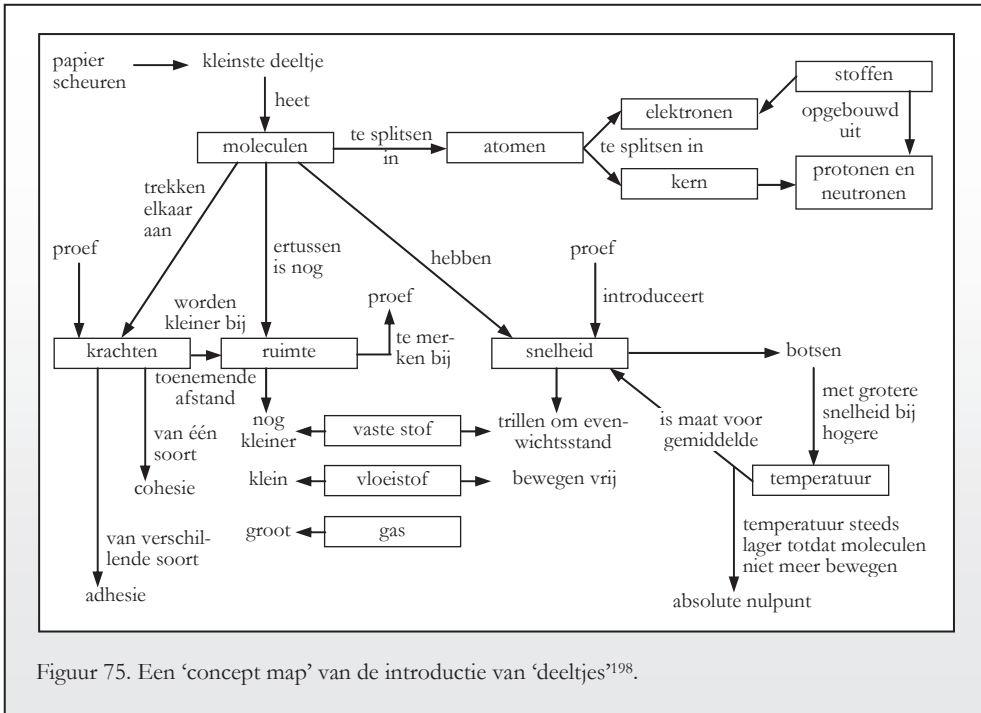
Wat ook precies de waarde van deze categorisering mag zijn, kenmerk is wel dat alle categorieën aansluiten bij een op zich continue en statische opvatting over materie. Waaruit de conclusie zich opdringt dat fenomenen die het gevolg zijn van faseovergangen veel leerlingen geen aanleiding geven om uit zichzelf over te stappen naar denken in deeltjes. Ook al worden die in leerboeken wel vaak als ingang voor de introductie van een deeltjesmodel gebruikt. Een aanpak die gestimuleerd wordt door het feit dat woorden als atoom en molecuul natuurlijk wel degelijk deel zijn gaan uitmaken van onze leefwereldtaal. Laten we daarom nu kijken hoe leerlingen zo’n introductie van een deeltjesmodel (figuur 75) kunnen opvatten.

8.2.3.3 Leerlingen en deeltjes

In het natuurkundeonderwijs komen ‘deeltjes’ op veel niveaus aan de orde, van het kinetisch gasmodel tot en met quarks. Hier zal ik me beperken tot het eenvoudigste model zoals dat al in de onderbouw geïntroduceerd wordt. De reden hiervoor is dat zo voor het eerst de grens overschreden wordt van denken in termen van continue materie naar denken in termen van discontinue materie. De vraag naar het verloop daarvan is dus interessant, net zoals er later in de bovenbouw opnieuw een grens overschreden wordt, namelijk tussen het klassieke denken en het quantumdenken over materie. Het deeltjesmodel dat in de onderbouw aan bod komt laat zich als volgt kort samenvatten.

Het gaat om een eenvoudig model, waarin men zich meestal slechts op één niveau met deeltjes (dit zijn dan moleculen of atomen) bezighoudt. Hiermee bedoel ik dat de opbouw van deze deeltjes, alsmede het uiteenvallen in en hergroeperen van kleinere deeltjes, niet aan de orde komen, al wordt het soms wel genoemd. Van belang is alleen dat materie bestaat uit stoffen, die op hun beurt zijn opgebouwd uit onveranderlijke identieke deeltjes, en dat bepaalde verschijnselen, zoals overgangen tussen aggregatieto-

standen, uitzetting en luchtdruk, beschreven kunnen worden in termen van hun gemiddelde snelheid, hun onderlinge afstanden en krachten, alsmede veranderingen daarin. Globaal genomen komen uit leerboeken twee redenen naar voren om dit model zo te behandelen. De eerste is dat leerlingen kennis moeten hebben van de bouw der materie, en de tweede dat hiermee het idee van een fysisch verklaringsmodel kan worden geïntroduceerd.



Wat zijn nu de belangrijkste leerlingideeën over deeltjes, zoals die uit diverse onderzoeken naar voren komen? Ik zal me beperken tot die ideeën die naar mijn mening gerelateerd zijn aan het deeltjesmodel zoals dat net kort is samengevat. Wanneer we spreken over leerlingideeën met betrekking tot deeltjes dan gaat het veelal om ideeën die leerlingen naar voren brengen nádat zij onderwijs gevolgd hebben over “de bouw der materie”, dat wil zeggen om de wijze waarop zij een onderwezen deeltjesmodel interpreteren. In de literatuur werd echter soms een veelheid van min of meer onafhankelijke “intuïtieve” deeltjesideeën van leerlingen gerapporteerd, die er op neer komen dat leerlingen aan de onderwezen submicroscopische modeldeeltjes macroscopische eigenschappen zouden toekennen. En alsof leerlingen dit soort ideeën zouden “hebben”. Naar mijn idee is het echter maar de vraag in hoeverre dit een juiste voorstelling van zaken is. Het lijkt me juist om te zeggen dat deze ideeën het gevolg zijn van onderwijs over deeltjes, waarbij dit onderwijs geïnterpreteerd wordt vanuit een dominante “primitieve” intuïtie, die niet voldoende als zodanig onderkend is. En deze intuïtie ‘zegt’ nu precies wat we hiervoor hebben gezien als basisnotie, namelijk dat

materie continu is en statisch. En dus kan het bijna niet anders dan dat leerlingen vanuit deze aanwezige basisnotie, nieuwe informatie over deeltjes interpreteren. Deze notie maakt, derhalve, begrijpelijk dat veel leerlingen, wanneer zij “gedwongen” worden om te redeneren in termen van deeltjes, deze eerder lijken te beschouwen als het resultaat van een (enigszins willekeurig) verdelingsproces in “brokjes”, dan als onveranderlijke deeltjes die reeds vóór de verdeling als zodanig in de stoffen aanwezig zijn. Waarom dit verdelingsproces überhaupt zou moeten stoppen, dan wel waarom de resulterende “brokjes” steeds dezelfde grootte zouden hebben, is dan natuurlijk niet

De moleculen van het ijs zijn lichter dan die van het water en blijven dus drijven.

De moleculen van ijs zijn lichter en er zit meer ruimte tussen de moleculen.

De ijsmoleculen zijn kouder als de watermoleculen, daarom befrist het water naar ijs.

Omdat de moleculen dan van vloeibaar in vast veranderen.

De watermoleculen zetten uit waardoor de dichtheid kleiner wordt en dus blijft drijven op water.

Omdat er tussen de ijsmoleculen luchtmoleculen zitten en lucht is lichter dan water.

Bij ijs zit meer lucht tussen de moleculen dan bij water, omdat die vloeibaar is.

De watermoleculen zitten zo dicht op elkaar dat de ijsmoleculen er niet doorheen komen en daarom er op blijft drijven.

Het ijs zakt niet omdat de moleculen van water sterker zijn dan van ijs en dus ijs blijft drijven.

Er zitten moleculen in die zich afstoten.

De bewegende moleculen van het water zorgen ervoor dat de vaste moleculen van het ijs blijven drijven.

Figuur 76. Enkele antwoorden van leerlingen op de vraag: ‘Waarom drijft ijs op water?’²⁰³

duidelijk. Logischerwijs blijven in dit verdelingsproces de eigenschappen die in het dagelijks leven aan macroscopische hoeveelheden materie worden toegekend, ook eigenschappen van de individuele “brokjes” (deeltjes). Deze kunnen dus een kleur hebben, krimpen of uitzetten, vloeibaar zijn of worden, zacht, doorzichtig of levend zijn, etc. (figuur 76).

Het blijven denken in termen van kleine, maar in essentie nog macroscopische, “brokjes” leidt tevens tot een daarbij horende interpretatie van snelheid van de “brokjes”. Voor veel leerlingen hoeven de “brokjes”, met name die van een vaste stof, niet noodzakelijk voortdurend in beweging te zijn en zeker niet te blijven. Ook de relatie tussen temperatuur en snelheid wordt problematisch, want het is immers natuurlijker om te spreken in termen van warme of koude “brokjes”.

Daarnaast blijken veel leerlingen moeite te hebben met het idee van volstrekt lege ruimte tussen de “brokjes”. Uit de literatuur komen twee algemene manieren naar voren om dit te vermijden, namelijk door de “brokjes” ofwel tegen elkaar, ofwel in een homogene substantie te plaatsen.

Ten slotte zijn er ook enkele intuïtieve ideeën van leerlingen naar voren gekomen met betrekking tot de “krachten” tussen “brokjes”. De grootte van deze “krachten” lijkt voor sommige leerlingen direct afhankelijk van de temperatuur. Ook werd gevonden dat de richting van de “krachten” afhankelijk wordt gedacht van de beweging, aantrekking bij krimpen en afstoting bij uitzetting. Daarnaast lijken afstotende “krachten” tussen “brokjes” voor leerlingen soms een bruikbaar middel om hun statische beeld van materie te handhaven.

In het bovenstaande hebben we laten zien dat de uitspraken van leerlingen, zoals die

uit diverse onderzoeken naar voren komen, consistent geïnterpreteerd kunnen worden als we ervan uitgaan dat leerlingen niet zozeer macroscopische eigenschappen toekennen aan “onze deeltjes”, zoals in de literatuur veelal gezegd wordt, maar dat “hun deeltjes” weliswaar kleine, maar in essentie macroscopische “brokjes” zijn. En dus ook dat, gegeven het onderwijs, veel leerlingen juist de essentie van de overgang naar een submicroscopisch deeltjesmodel dan niet hebben kunnen maken. Voor docenten is dit uiteraard niet altijd even bevredigend. Zo reageerde een docente, na een interview waarin haar leerlingen onder andere spraken over het smelten van een korreltje kleurstof in water, terwijl ze toch uitvoerig aandacht had besteed aan het verschil tussen oplossen en smelten, als volgt: “dus het is echt zo”, “ze hebben het toch echt gehad”, en “als je dit zo ziet dan vraag je je toch wel af wat lesgeven nog voor zin heeft”! Vollebregt²⁰³ heeft laten zien dat dit soort ideeën over deeltjes ook bij HAVO/VWO-leerlingen aan het eind van de derde klas nog in ruime mate aanwezig is. Weliswaar geven deze leerlingen op gesloten vragen in meerderheid de goede antwoorden, maar dit blijkt veelal te berusten op oppervlakkige reproductie van het geleerde. Zodra leerlingen in open vragen (in vragenlijst of interview) het “geleerde” deeltjesmodel productief moeten gebruiken, blijken de leefwereldintuïties nog te domineren. Dit betekent dus dat de stap naar een hypothetisch deeltjesmodel niet echt gezet is. Ten aanzien van het modelbegrip concludeert Vollebregt het volgende. “*Geen van de leerlingen is in staat gebleken tot de wezenlijke verschillen tussen een deeltjesmodel en andere modellen door te dringen. Ze begrepen geen van allen waar de interviewer naar toe wilde. Het lukte haar derhalve niet om hen over de werkelijke status van een natuurkundig model (als gedachtenconstruct) te laten spreken. Waar het bij die andere modellen gaat om een verkleining, zo precies als nodig is, van een groter exemplaar, of een prototype van een groot aantal individuen, handelt het bij het deeltjesmodel om een zo eenvoudig mogelijk en bovendien hypothetisch construct waarmee men zoveel mogelijk verschijnselen kan verklaren en in staat is nog niet waargenomen zaken te voorspellen. Het model is zelf geen werkelijkeheid maar wordt hier overheen gelegd als middel om deze te beschrijven. De leerlingen leken hier geen enkel idee over te hebben. Zij noemden slechts oppervlakkige verschillen die hier ver vanaf staan.*”

8.2.3.4 Modellen

Daarmee zijn we aangekomen bij de vraag hoe leerlingen dan wel tegen het modelbegrip aankijken. Inmiddels is er veel onderzoek gedaan waaruit naar voren komt dat zowel docenten als leerlingen allerlei problemen kunnen hebben met modellen. Schwarz & White schrijven bijvoorbeeld: “*There is ample evidence indicating that students may not understand the nature of models or the process of modeling even when they are engaged in creating and revising models.*”²⁰⁴ En dat dus ondanks vele vernieuwingsprojecten die zich

²⁰³ M.J. Vollebregt (1991). *Wat begrijpen leerlingen van de ‘bouw van materie’?* Utrecht: Vakgroep Natuurkunde Didactiek.

M.J. Vollebregt (1998). *A Problem-Posing Approach to Teaching an Initial Particle Model*. Utrecht: CD-β Press.

²⁰⁴ J. van Driel (1997). Het onderwijzen van modellen binnen ANW. *TD-β*, 14, 177-195.

L. Grosslight, C. Unger, E. Jay & C.L. Smith (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 799-822.

C.V. Schwarz & B.Y. White (2005). Metamodeling knowledge: Developing students’ understanding of

nu juist daarop richten en gericht hebben. Het lijkt dus niet alleen zo te zijn dat modellen nog steeds grotendeels ‘feitelijk’ worden onderwezen, maar ook dat er meestal geen tot hooguit impliciete aandacht is voor modelleren. Hier wil ik me beperken tot ‘the nature of models’ en nog niet ingaan op ‘leren modelleren’. Deze nadruk op modellen heeft als belangrijke achtergrond de constructivistische aandacht voor pre- en misconcepties van leerlingen, omdat deze worden gezien als voorbeelden van het feit dat mensen hun wereld voortdurend interpreteren met behulp van hun mentale modellen, en deze daardoor ook voortdurend bijstellen en verder ontwikkelen. Een andere achtergrond is trouwens ook de huidige nadruk op het belang van wetenschapsfilosofie in het natuurwetenschappelijk onderwijs, wat resulteert in aandacht voor de aard van wetenschappelijke kennis in het algemeen en van wetenschappelijke modellen in het bijzonder. Maar, wat is dan eigenlijk een model? Hier zijn letterlijk boeken over volgeschreven, dus laat ik me beperken tot enkele kanttekeningen. Zo noemt Van Driel²⁰⁴ zeven modelkenmerken, die, kort weergegeven, op het volgende neerkomen:

- 1 Een model is altijd een model *van iets*, namelijk van een object van onderzoek.
- 2 Een model is een *hulpmiddel* bij onderzoek aan het betreffende object.
- 3 Een model vertoont een aantal *overeenkomsten* met het object van onderzoek.
- 4 Een model *verschilt* van het object van onderzoek vanwege toegepaste reducties.
- 5 Een model heeft een *compromiskarakter*, omdat 3 en 4 elkaar tegenwerken.
- 6 Een model is *niet rechtstreeks* van het object van onderzoek *afgeleid*.
- 7 Een model kan een *ontwikkeling* doormaken in de loop van een onderzoek.

Ik zou hier nog aan toe willen voegen dat een model altijd een *doel* heeft (beschrijven, verklaren, voorspellen, ofwel ‘hanteerbaar’ maken van het object van onderzoek) en een verondersteld geldigheidsgebied. Afhankelijk van het doel, worden van eenzelfde object vaak verschillende modellen gemaakt.

Bovenstaande expertkenmerken gaan steeds uit van een relatie tussen het model en het ‘object van onderzoek’, zonder echter aan te geven dat deze relatie niet onprobleematisch is. Immers, in veel gevallen kennen we dit object van onderzoek niet anders dan door middel van het model dat we er van gemaakt hebben. Zelfs zo dat we door het succes van het model eerst gaan geloven dat er een corresponderend object van onderzoek zou kunnen ‘bestaan’, en waarvan we dan overigens ook niet zinvol kunnen zeggen in welke zin het wel of niet afwijkt van het model.

Het is uiteraard niet eenvoudig deze kenmerken bondig samen te vatten in een sluitende definitie. Van Driel rapporteert dat docenten grotendeels de volgende algemene omschrijving van het modelbegrip in de natuurwetenschappen hanteren: “*Een model is een vereenvoudigde en/of schematische weergave van de werkelijkheid.*” Ik vermoed dat veel fysici iets dergelijks zullen zeggen; in ieder geval zullen ze waarschijnlijk niet direct tot een definitie komen als: “*a scientific model is a set of representations, rules and reasoning structures that allow one to generate predictions and explanations*” (Schwarz & White²⁰⁴).

Uit bovenstaande kenmerken blijkt steeds dat een model een voorlopige constructie is van de onderzoeker, die altijd modificeerbaar is in het licht van nieuwe gegevens.

scientific modeling, *Cognition and Instruction*, 23, 165-205.

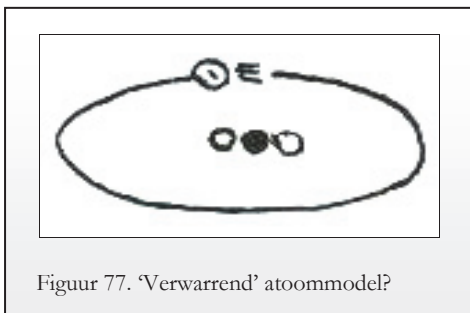
Toch is het zo dat in de behandeling in leerboeken van dit constructieve en voorlopige karakter van modellen vaak weinig te merken is. Veeleer is er meestal sprake van een verfeitelijkte beschrijving en introductie van een model. Dus is het niet verwonderlijk dat het modelbegrip van leerlingen veelal ver verwijderd is van wat ons voor ogen staat. Dat is het best beschreven door Grosslight et al.²⁰⁴, en wel als volgt:

“In a general level 1 understanding, models are thought of as either toys or simple copies of reality. Models are thought to be useful because they can provide copies of actual objects or actions. If students acknowledge that some aspects or parts of the real thing can be left out of the model, they do not express a reason for doing so beyond the fact that one might want or need to. In a general level 2 understanding, the student now realizes that there is a specific, explicit purpose that mediates the way the model is constructed. (...) The model no longer must exactly correspond with the real-world object being modeled. (...) However, the main focus is still on the model and the reality modeled, not the ideas portrayed per se. Further tests of the model are not thought of as tests of underlying ideas but of the workability of the model itself.

Finally, a general level 3 understanding is characterized by three important factors. First the model is now constructed in the service of developing and testing ideas rather than as serving as a copy of reality itself. Second, the modeler takes an active role in constructing the model, evaluating which of several designs could be used to serve the model’s purpose. Third, models can be manipulated and subjected to tests in the service of informing ideas. Thus they provide information within a cyclic constructive process.”

Van de 12-jarige leerlingen in hun onderzoek bevond de grote meerderheid zich nog helemaal op niveau 1, terwijl de rest verdeeld was tussen een gemiddeld 1/2 niveau en een puur 2 niveau. Van de 16-jarige leerlingen had een kwart nog steeds puur niveau 1, met de rest half/half verdeeld tussen een gemiddeld 1/2 niveau en een puur niveau 2. Niveau 3 kwam dus niet voor.

Er is geen reden om aan te nemen dat de situatie in ons land heel anders is. Leerlingen



Figuur 77. ‘Verwarrend’ atoommodel?

zijn sterk geneigd, in meer of mindere mate, het realiteitsgehalte van deeltjesmodellen te overschatten. Heeft dit te maken met hun hypothetische en abstracte karakter? Kortom, had Piaget dan toch gelijk?

Frappant is hoe dat ‘naïef realisme’ soms onbedoeld gestimuleerd kan worden door plaatjes in leerboeken: *“Again, pupils from the middle ability bands clung to pictorial representations and took the model literally. They now learned that electrons move in a shell around the nucleus as in [figuur 77]. When they were told that some nuclei are unstable and emit radiation, some pupils wondered why the radiation is not stopped by the shell around the nucleus (i.e. the solid line around the nucleus).”*²⁰⁵

²⁰⁵ C.W.J.M. Klaassen, H.M.C. Eijkelhof & P.L. Lijnse (1990). Considering an alternative approach to teaching radioactivity. In: P.L. Lijnse, W. de Vos, A.J. Waarlo & P. Licht (Eds.), *Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic Particles: A Central Problem in Secondary Science Education* (pp. 304-315). Utrecht: CD-β Press.

In een volgend hoofdstuk zal ik verder ingaan op de vraag of en hoe we dit ‘macro-micro-denken’ kunnen optimaliseren. Maar eerst nog een laatste voorbeeld van interactie tussen karakteristieken van leefwerelddenken en schoolnatuurkunde.

8.2.4 Leerlingen en ioniserende straling

8.2.4.1 Inleiding

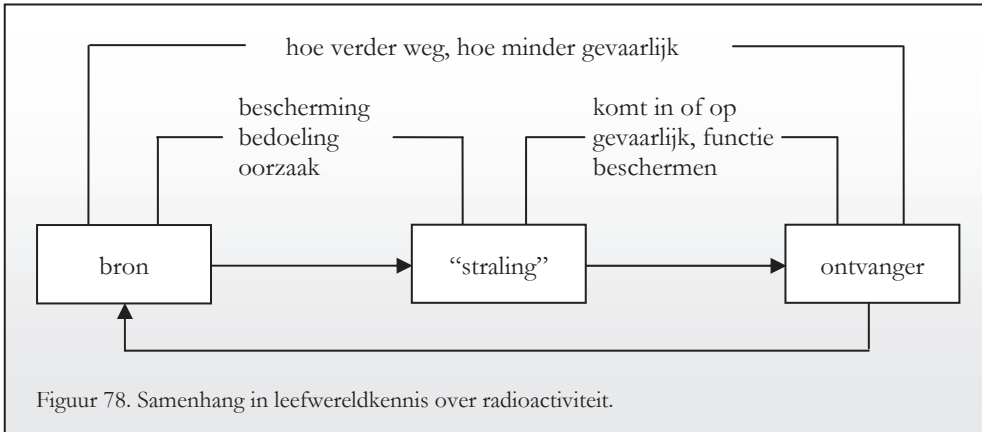
Als laatste fenomenologische casestudie wil ik nu aandacht besteden aan een heel ander onderwerp. Eijkelhof¹⁹³ heeft uitgebreid onderzoek gedaan naar het denken van leerlingen over (risico’s van) ioniserende straling. Dit is gedaan kort na de ramp in Chernobyl (die was in 1986!), en het is dan ook begrijpelijk dat deze een grote rol speelde in dat onderzoek. Dat lijkt gedateerd, maar de recente problemen in Japan (in 2012) hebben dit onderwerp weer helemaal geactualiseerd!

Een van de meest opvallende dingen betreffende de kennis van leerlingen over radioactiviteit is dat ze de vragen die hen gesteld werden over de meest uiteenlopende situaties (Chernobyl, voedseldoorstraling, straling in de gezondheidszorg, radioactief afval, kernexplosies, achtergrondstraling) vlot en uitgebreid konden beantwoorden, ook al waren die antwoorden dan strikt natuurkundig gezien misschien foutief. In een vragenlijst over de gevolgen van Chernobyl gaf ruim 90% van de leerlingen (4 HAVO/VWO) aan de berichtgeving over dat ongeluk redelijk tot zeer begrijpelijk te hebben gevonden. Op het laten nemen van röntgenfoto’s na, zeggen leerlingen zelf weinig ervaringen te hebben met radioactieve straling. Hun kennis daarover ontstaat grotendeels uit wat ze er zoal over horen en lezen: via kranten, via televisie, radio, “gewoon in je omgeving”, “gewoon via via”, “dat is heel vaak op het nieuws en ik hoor het van mijn moeder en mijn broer”.

8.2.4.2 “Straling” en bronnen van ‘straling’

Iets wat onmiddellijk in het oog springt, is dat leerlingen in hun uitspraken bijna altijd het woord ‘straling’ gebruiken, ook wanneer deskundigen de term ‘radioactieve stof’ zouden gebruiken. Om dit brede en ongedifferentieerde begrip ‘straling’ te onderscheiden van het natuurkundige begrip, zal ik het in het vervolg noteren als “straling”. Leerlingen lijken geen eenduidig en duidelijk beeld te hebben van die “straling”. Betekenismomenten die leerlingen veelvuldig aan “straling” toekennen zijn: onzichtbaarheid, hoog doordringend vermogen en schadelijkheid. Zo vergelijken ze “straling” met gassen vanwege de onzichtbaarheid en het gevaar, en met laserlicht en ultraviolet licht vanwege de hoge doordringbaarheid en het gevaar. Ze associëren zonnebanken met “straling”, want daar “kun je sneller kanker van krijgen”. Dat leerlingen niet of nauwelijks gebruik maken van het idee ‘radioactieve stof als bron van straling’, betekent niet dat ze niet in termen van bronnen zouden denken. Als bronnen van “straling” noemen ze echter Chernobyl, kerncentrales, kernbommen en de grond. Hoewel deze bronnen er de oorzaak van zijn dat er nu meer “straling” gemeten kan worden, geven veel leerlingen ook aan dat er altijd en overal wel “straling” geweest is: “ik denk dat het gewoon in de lucht zit al”, “overal om je heen”.

Uit de vele uitspraken die leerlingen hebben gedaan, is het volgende grondpatroon



Bij bron – “straling” horen relaties als:

- Hoe sterker de bron, hoe meer “straling” eruit komt.
- Onder normale omstandigheden komt er uit een bron geen “straling”, omdat ze voldoende afgeschermd zijn (bijvoorbeeld met lood of beton).
- Als er onbedoeld “straling” uit een bron komt, heeft dat een oorzaak (bijvoorbeeld een ongeluk of ontploffing).
- Bij toepassingen van “straling” komt bedoeld “straling” vrij.

Bij “straling” – ontvanger horen relaties als:

- Als “straling” ontsnapt is, komt die bij een ontvanger, bijvoorbeeld via regen of wind.
- Wanneer “straling” in of op een menselijke ontvanger komt is dat gevaarlijk, het kan leiden tot ziektes of dood.
- In toepassingen heeft de “straling” een bepaalde functie, bijvoorbeeld dingen in het inwendige van de ontvanger zichtbaar maken, of het vernietigen van tumoren.
- Hoe meer “straling” er in of op de ontvanger komt, hoe meer schade er aangericht wordt.
- Ook de ontvanger kan zich beschermen tegen de “straling”, bijvoorbeeld met lood of beton.

Bij bron – ontvanger horen relaties als:

- Hoe verder weg van de bron, hoe minder last de ontvanger van de “straling” heeft.
- Hoe sterker de bron is, hoe groter de effecten zijn.

²⁰⁶ C.W.J.M. Klaassen (1995). *A Problem-Posing Approach to Teaching the Topic of Radioactivity*. Utrecht: CD-β Press.

Er is ook een terugkoppeling, waarin bron, “straling” en ontvanger betrokken zijn:

- Wanneer “straling” in of op iets komt, kan dat iets (een deel van) die “straling” opnieuw uitzenden en daardoor schade aanrichten aan iets anders: de ontvanger wordt zelf ook een bron van “straling”.

8.2.4.3 Redeneren over radioactiviteit

We kunnen dit grondpatroon nog wat verder uitwerken tot een manier van redeneren. Zo heeft een bron, bedoeld of onbedoeld, door middel van “straling” een effect op een ontvanger. Chernobyl was bijvoorbeeld zo’n bron die onbedoeld effect op ons had. Een röntgenapparaat is een bron die bedoeld gebruikt wordt “om dingen zichtbaar te maken”. Lood en beton fungeren als een soort weerstand, die echter weinig effect meer heeft als de bron sterk genoeg is: “toen bij Chernobyl... toen ging het gewoon dwars door de muren heen”. Bij een krachtiger bron (zoals Chernobyl) zullen de effecten groter zijn dan bij een niet zo krachtige bron (zoals een stralingsapparaat): “kijk, bij zo’n stralingsapparaat in het ziekenhuis daar heb je maar een klein beetje, maar als dan... maar toen bij Chernobyl, dat was heel veel, daar waren gewoon mensen na een paar minuten... waren ze gewoon dood”. In de buurt van een bron zijn de effecten groter dan verder weg: “als je dichterbij zo’n vat (radioactief afval) staat, dat je dan vatbaarder bent voor de straling, dan dat je verder weg bent”. Verder zal er alleen maar een effect zijn als de “straling” in contact is met de ontvanger. Daar nog lange tijd na bestraling effecten op kunnen treden, zal de “straling” ook een tijd achterblijven of blijven hangen: “als de ene bestraald is, heeft ‘ie niks en de ander die heeft, zeg maar hoofdpijn, en zo, dat krijgt ‘ie ervan, ik weet niet, bij de ene blijft het misschien hangen en bij de andere niet”.

De relatie dat een ontvanger ook zelf bron wordt is ook simpel te begrijpen. Wat voor zin zou het immers gehad hebben na het ongeluk in Chernobyl spinazie door te draaien, als die spinazie, waar “straling” in gekomen was, niet zelf ook een schadelijke werking op ons gehad zou hebben, niet zelf ook bron zou zijn geworden.

Sommige leerlingen weten natuurlijk nog meer. Bijvoorbeeld dat overal wel wat “straling” is. En omdat het niet zo is dat iedereen daar nu meteen ziek van wordt, of een gevaar voor zijn medemens, betekent dat dat een mens wel wat “straling” kan hebben, of dat iets pas zelf “straling” uit gaat zenden nadat het teveel “straling” ontvangen heeft.

Naar aanleiding van het ongeluk in Chernobyl hebben we leerlingen gevraagd waarom in sommige landen jodiumtabletten verstrekt werden. Het gemeenschappelijke idee achter vrijwel alle antwoorden is, in overeenstemming met het grondpatroon, dat daarmee de ‘weerstand’ op een of andere manier vergroot wordt. De manier waarop dit gebeurt is nog verschillend: jodium werkt de “straling” tegen, bijvoorbeeld door het op te lossen; jodium schermt het lichaam af tegen “straling” als een loden muur; jodium geeft het lichaam meer weerstand tegen “straling” doordat het lichaam dan antistoffen maakt.

Bovenstaand grondpatroon kan gezien worden als een domeinspecifieke invulling van een veel algemener patroon, door Andersson aangeduid als de ‘Experiential Gestalt of

Causation', de manier waarop mensen, in hun leefwereld, de samenhang van oorzaak-gevolg, of bedoeling-resultaat, als vanzelfsprekend ervaren: iets (een agens) doet iets met (heeft een effect op) iets anders (een object)²⁰⁷. De agens kan een doel hebben met wat hij met het object doet, kan daarbij gebruik maken van een hulpmiddel (instrument) en kan daarbij een weerstand ondervinden. Daar horen vanzelfsprekende relaties bij, als: hoe 'sterker' de agens (hoe meer moeite de agens doet), des te meer effect hij sorteert; hoe groter de weerstand is, des te minder het effect zal zijn; hoe 'dichter' de agens bij het object staat, hoe groter de invloed zal zijn; etc. In deze 'Gestalt' liggen vele ervaringen besloten, vandaar de term 'experiential'. De term 'Gestalt' geeft aan dat mensen de aangegeven oorzaak-gevolg relaties herkennen als één geheel dat meer fundamenteel is dan de afzonderlijke componenten ervan. Van deze Gestalt maken wij, onbewust, in vele situaties gebruik. En in de meeste situaties 'werkt' hij ook en is geen nadere toelichting nodig. Zo is het onzinnig te vragen waarom je meer moeite moet doen om een zwaar voorwerp vooruit te duwen dan om een licht voorwerp vooruit te duwen, waarom je meer effect sorteert wanneer je hard duwt, of waarom je iets gemakkelijker over een gladde vloer vooruit kunt duwen dan over een ruwe vloer. En een pannetje water (object) op een elektrische kookplaat (de agens) warmt sneller op (een groter effect) wanneer de kookplaat hoger wordt gezet (meer moeite doet). Dat is gewoon zo, dat is vanzelfsprekend! Pas als deze Gestalt een keer niet zou werken, worden we ons ervan bewust.

8.2.4.4 Na onderwijs over radioactiviteit

Vanwege de vanzelfsprekendheid van de causale Gestalt-redeneringen is het moeilijk deze patronen zo nodig te veranderen. Daardoor heeft op school geleerde kennis, die hier niet aan gerelateerd wordt, er ook niet zonder meer invloed op. Eijkelhof heeft bijvoorbeeld onderzocht in hoeverre leerlingen na onderwijs over kernfysica en radioactiviteit afzagen van de beschreven 'lekenkenbeelden'. Hij deed dit met behulp van een vragenlijst bij leerlingen die onderwijs kregen aan de hand van 'Systematische Natuurkunde' en met het PLON-thema 'Ioniserende Straling'. Figuur 79 geeft enkele resultaten weer uit dit onderzoek.

Deze voorbeelden mogen illustreren dat de invloed van het leefwerelddenken over "straling" nog steeds in ruime mate aanwezig is na onderwijs dat daaraan geen aandacht besteedt. We moeten daarbij bedenken dat in het PLON-thema wel uitgebreid aandacht is besteed aan stralingsrisico's en aan stralingscontexten, maar niet aan het leefwerelddenken over "straling". Net zomin uiteraard als in het kernfysica-onderwijs van 'Systematische Natuurkunde'. De conclusie lijkt dan ook gerechtvaardigd dat de veronderstelde transfer die zou uitgaan van het leren van de "goede natuurkunde" niet zonder meer optreedt. Wil men dat leerlingen hun leefwerelddenken over "straling" bijstellen en aanvullen, dan zal men daar in het onderwijs op een of andere manier expliciet aandacht aan moeten besteden.

²⁰⁷ B. Andersson (1986). The experiential Gestalt of Causation: a common core to pupils' preconceptions in science. *European Journal of Science Education*, 8, 155-171.

	PLON	SN
1 Röntgenstralen blijven nog uren hangen in een röntgenfotokamer.	41	24
2 Röntgenstraling blijft achter in bestraald voedsel, daarom is het enige tijd gevaarlijk om dat te eten.	60	44
3 Na een röntgenfoto blijven sommige stralen wel maanden in het lichaam achter.	27	31
4 Straling kan achterblijven in voedsel.	52	60
5 Patiënten die bestraald zijn, zijn gevaarlijk voor anderen.	19	20
6 De term "halfwaardetijd" kan omschreven worden als "de tijd waarin een atoomkern de helft van zijn straling verliest".	51	23
7 Een persoon die besmet is bevat teveel straling	33	47

Figuur 79. Enkele resultaten van het onderzoek naar 'lekenkenbeelden' na onderwijs over ioniserende straling. De percentages geven aan hoeveel 6 VWO-leerlingen het met een uitspraak eens waren.

8.2.5 Moraal

Als we het voorgaande nog eens rustig tot ons laten doordringen dan kan de conclusie niet anders zijn dan dat het bereikte niveau van inzicht dat in het onderwijs (wereldwijd) wordt bereikt, bij dieper doorgraven vaak heel teleurstellend is. Een eerste oorzaak daarvan zagen we in het vorige hoofdstuk, namelijk dat leerlingen het voor het gegeven onderwijs benodigde logische denkniveau onvoldoende zouden beheersen. Belangrijker lijkt echter de uit deze paragraaf volgende constatering dat er in het onderwijs geen aandacht was voor de invloed van pre- en misconcepties. En die invloed blijkt vaak verrassend groot. Mede doordat in veel onderwijs het behandeltempo vaak veel te hoog ligt. Bovendien, als er in het begin iets is misgegaan, dan is het moeilijk om dat later weer recht te trekken. Meestal wordt er veel te weinig tijd uitgetrokken voor integratie en reflectie, voor verwerking. Daardoor is veel onderwijs sterk begripsforcerend van karakter. En ook daarvoor is weer een verklaring, namelijk de altijd durende klacht over overladenheid van programma's. Ook dat geldt wereldwijd. Programma's worden zo overladen opgesteld, omdat daarin onvoldoende rekening wordt gehouden met de benodigde didactiek. Tenslotte blijkt altijd de vraag om 'voldoende niveau van het programma' het te winnen van andere overwegingen. Daardoor heeft een docent vaak geen andere keus dan forcerend onderwijs te geven, en het systeem redt zichzelf door de examinering hieraan aan te passen. Ofwel, zo ontstaat een gesloten systeem, dat praktisch immuun is voor welk 'verontrustend' onderzoeksresultaat dan ook! Kunnen we uit dit onderzoek misschien ook iets leren om dat te doorbreken?

Laat ik daarom ter afronding samenvatten wat ik in de voorgaande paragrafen heb gedaan en proberen daar een moraal aan te verbinden. Ik heb aandacht besteed aan vier casestudies over de pre- en misconcepties van leerlingen. Zoals gezegd, dit zijn slechts voorbeelden. Er is zeer veel meer geschreven, zowel over deze onderwerpen

als over vele andere. Maar het beeld is hopelijk duidelijk geworden. Vanwege pre-concepties uit hun leefwereld, worstelen leerlingen in het natuurkundeonderwijs met het construeren van de bedoelde, onderwezen concepties, vaak resulterend in misconcepties. Er is nog meer. In het voorgaande heb ik er regelmatig op gewezen dat het juist interpreteren van leerlinguitspraken niet eenvoudig is. Je kunt dit in essentie op twee manieren doen. Vanuit fysisch standpunt kun je aangeven wat er allemaal fout is in hun uitspraken, en dat is wat het meest gedaan wordt. Veel moeilijker is om te proberen in de huid van de leerling te kruipen en dan te begrijpen wat hij echt zegt. Kortom, het probleem van de interpretatie. Het lijkt me nuttig daar nog wat verder op in te gaan.

In mijn voorbeelden heb ik wel geprobeerd de leerling goed te interpreteren door steeds aan te geven dat als je zijn uitspraken vanuit de leefwereld interpreteert, er eigenlijk weinig mis mee is. Ook hebben we gezien dat er een onderliggend patroon te onderkennen is in ons leefwerelddenken. Dat roept de vraag op of er nog meer van zulke patronen zijn, naar wat ons leefwerelddenken eigenlijk kenmerkt en hoe zich dat verhoudt tot het natuurkundige denken. Kunnen we daarover iets zinvols zeggen, want misschien geeft dat een bruikbaar overkoepelend aangrijpingspunt voor onderwijsverbetering?

Uiteindelijk ligt ons doel in de vraag hoe we dan wel rekening kunnen houden met de invloed van pre- en misconcepties in het onderwijs. Als we niets doen, zoals gebruikelijk was, dan blijken ze problemen te geven, dus kan het beter en hoe dan? Daar is veel werk aan gedaan, wat nu aandacht verdient. Zijn er constructivistische onderwijsstrategieën bedacht die ook succesvol zijn gebleken?

En ten slotte, deze aandacht voor leerlingconcepties ontstond onder invloed van het constructivisme. Maar hoe denken we daar nu over? Of is dat label inmiddels ook weer verouderd? Dit zijn de vragen die in de volgende paragrafen aan de orde zullen komen.

8.3 Het interpretatieprobleem

8.3.1 Misconceptie of misinterpretatie?

*“Research on students’ pre-instructional conceptions in many science domains has shown that these conceptions are often in stark contrast to the science conceptions to be learned. In other words, that major restructuring of the already existing knowledge is necessary. It is seen as fundamentally different from what may be called ‘conceptual growth’ where only enlargement and enrichment of the already existing knowledge is needed.”*²⁰⁸ Aldus één van de sterkste aanhangers van ‘conceptual change’. Maar is dat wel zo? Wat houdt dat ‘stark contrast’ precies in? Heeft dat niet alles te maken met de vraag hoe je leerlinguitspraken hebt geïnterpreteerd? Johnson & Gott²⁰⁹ hebben dit methodologische probleem aan de orde gesteld en besproken hoe

²⁰⁸ R. Duit (1999). Conceptual change approaches in science education. In: W. Schnotz, S. Vosniadou & M. Carretero (Eds.), *New Perspectives on Conceptual Change* (pp. 263-281). Amsterdam: Elsevier.

²⁰⁹ P. Johnson & R. Gott (1996). Constructivism and evidence from children’s ideas. *Science Education*, 80, 561-577.

er nogal eens wat mis gegaan is in de gerapporteerde literatuur. *“An implicit assumption of empirical studies reported in the constructivist literature, it seems, is that finding out what a child thinks is a relatively straightforward task.”* Ten onrechte, naar hun idee, want het uitvinden wat een kind denkt is *“more than simply asking a child a few ‘key’ questions and then categorizing verbal responses according to forms of words.”* En dat is wat vaak gedaan werd, met discutabele uitkomsten. Waar het aan mankeert is dat je er voor moet zorgen dat *“the child understands what the researcher is asking in the meaning intended by the researcher, and the researcher understands the child’s response in the meaning intended by the child.”* Ofwel, een taak moet wat dat betreft neutraal zijn en dat is nog niet zo eenvoudig. Hoe onderzoek je, bijvoorbeeld, het denken van kinderen over kracht of energie, zonder in dit soort problemen te vervallen? *“... suspension of judgment on the part of the researcher, particularly with respect to ‘scientific words’, is perhaps the most demanding to observe. There is always the danger of overinterpretation. It should be noted that asking questions with scientific words, rather than about scientific words, is likely to place a task out of neutral ground, unless one can be confident that a child understands the scientific meaning.”*

In ons eigen werk hebben we ons vaak bezig gehouden met het bestuderen van de interactie van leer- en onderwijsprocessen, zoals deze in de klas plaatsvinden. Vaak bleek het moeilijk te zijn om zulke klassendiscussies ondubbelzinnig te interpreteren. Uitgaan van een constructivistisch standpunt helpt daarvoor niet echt. Zo’n standpunt zegt immers wel duidelijk dat er kennis geconstrueerd wordt, maar niet hoe welke kennis ontstaat op grond van welke bestaande kennis. Ofwel, hoe interpreteer je zo’n discussie op een betrouwbare manier?²¹⁰

Om dit verder te kunnen bediscussiëren geef ik eerst een voorbeeld van zo’n klassendiscussie, die we vervolgens op verschillende manieren zullen analyseren. Daarna bespreken we dan enkele tekortkomingen van deze analyses, om vervolgens onze eigen analyse te geven en deze met de voorgaande te vergelijken. Ten slotte bediscussiëren en vergelijken we enkele consequenties die de verschillende analyses hebben voor het onderwijs. Uiteindelijk geven we een filosofische rechtvaardiging van onze analyse.

8.3.2 Een voorbeeld van een klassendiscussie

Ons voorbeeld komt uit een mechanicales, die plaats vond in een 4-HAVO klas, waarin het PLON-curriculum werd gebruikt. In de voorafgaande les hebben de leerlingen een speciaal ontwikkelde video bekeken, die gaat over de krachten die werken op een rijdende fiets. Het onderstaande protocol begint als de leraar (LR) de video wil samenvatten en verder uitwerken met behulp van de bekende luchtkussenbaan. Zijn inleidende vraag gaat over de krachten die werken op de ruiters wanneer die stil ligt op de nog niet werkende luchtkussenbaan. Deze vraag is alleen maar bedoeld om de al bekend veronderstelde statische krachtwerking weer in de herinnering van leerlingen terug te roepen. Dan ontspint zich de volgende discussie die ongeveer 20 minuten in beslag neemt.

²¹⁰ Kees Klaassen is, bij mijn weten, de eerste die dit interpretatieprobleem indringend aan de orde heeft gesteld. Alles wat daarover gezegd zal worden is dan ook op zijn gedachten geïnspireerd, vandaar de meervoudsvorm. Het meeste is overgenomen uit: P.L. Lijnse & C.W.J.M. Klaassen (1995). Over het interpreteren van leraar- en leerlinguitspraken in natuurwetenschappelijk onderwijs. *TD-β*, 13, 35-63.

Les over mechanica in 4-HAVO

- 1 LR We beginnen eventjes zo: het ging dus in die film over krachten die bij fietsen werken. (Wijst het ruitertje aan.) Nou heb ik hier een soort fiets. Nou wilde ik eerst vragen, wat voor krachten er op dit ding werken. Probeer maar even: welke krachten denk je dat er op dit moment werken? Werken er krachten op?
- 2 Eric De zwaartekracht.
- 3 LR De zwaartekracht, zegt Eric. Eh... als nou alleen de zwaartekracht werkt, wat gebeurt er dan? Even afgezien van deze situatie, alleen de zwaartekracht.
- 4 Eric Dan gaat ie naar beneden.
- 5 LR Dan gaat hij naar beneden. Evert, wat zouden er nog meer voor krachten werken?
- 6 Evert Ehmm, tja...
- 7 LR Wat voorkomt dat hij naar beneden valt?
- 8 Evert Die buis.
- 9 LR Ja, die buis. Dus die buis moet een tegenwicht leveren dat-ie niet naar beneden valt. Even voor de volledigheid: welke richting heeft die zwaartekracht. Eric?
- 10 (Medeleerling (bij wijze van grap): "Naar boven...")
- 11 Eric Eh nee, naar beneden.
(Even hilariteit in de klas.)
- 12 LR En Onno, die kracht van die buis is dus naar boven toe. Ja?
- 13 Jet Hoezo dat dan?!
- 14 Onno Nou, anders valt-ie naar beneden.
- 15 LR Anders valt-ie naar beneden, zegt hij. Dus: als dat ding niet op de buis ligt en ik laat hem los, dan werkt alleen de zwaartekracht; valt-ie naar beneden toe. Als die buis hem wil tegenhouden dan moet-ie hem naar boven drukken.
- 16 Jet Maar die buis drukt toch niet...?
- 17 LR Die buis drukt niet...
- 18 Jet Nee...
- 19 Onno Tja, die buis hangt daar gewoon.
- 20 Jet ... die is daar gewoon.
- 21 (Gestommel van enkele medeleerlingen met als gevoelsinhoud: "Nou ja zeg. Niet zo moeilijk doen. Neem dat nou maar gewoon aan.")
- 22 LR Als je dit ding los laat, valt hij naar beneden, werkt er een kracht op.
- 23 Jet Ja-ah, als die buis weg is.
- 24 LR Ja. Als je hem nu in je vingers houdt – ik kan hem er niet zo makkelijk vanaf halen. Als je zo'n ding in je vingers houdt. (Pakt een klein gewichtje.) Dit ding ook, hè. Als je het los laat valt hij naar beneden. (Zet het gewichtje op de toppen van wijs- en middelvinger.) Nou wil ik het tegenhouden. Bij zo'n licht ding voel je niet veel, maar als je hier een zwaar gewicht op zet, voel je het met je vingers.
- 25 Jet Hmm...
- 26 LR Dat komt omdat je tegendruk moet uitoefenen. Je moet dus wel degelijk, als je hier (vingertoppen) een zwaar gewicht op zet...
- 27 Jet (Onderbreekt) Ja-ah, als je dat zelf doet!
- 28 LR ... ik heb hele dunne vingers en dit is een heel zwaar gewicht. Dan gaan mijn vingers naar beneden. (Laat dit zien.) Als ik hem op z'n plaats wil houden, dan moet ik 'm omhoog drukken. Dat doet die buis ook, alleen zie je dat niet. Je ziet niet dat die buis het doet, die buis beweegt verder niet. Maar als ik dit ding met mijn vingers op zijn plaats wil houden dan moet ik hem omhoog drukken.
- 29 Camiel Ja maar, die buis kan toch niet omhoog drukken?
- 30 LR Nee... maar dat doet die buis dus ook.

- 31 Camiel Ja maar, dat kan-ie toch niet?
- 32 LR Jawel, dat kan-ie wel.
- 33 Camiel Jij kan met je vingers omhoog drukken maar die buis niet.
- 34 LR (Probeer een redenering op te zetten, maar daarnaast willen verschillende leerlingen hun zegje doen: verwarring over het probleem.) Ik pak er even wat anders bij. (En loopt naar het kabinet. Ondertussen blijft een aantal leerlingen door elkaar heen praten.) (Komt met een groot stuk schuimrubber terug.) Even wat anders. Ik pak even een ander materiaal – buigzamer dan metaal. We zetten het even hiervoor. (Plaatst het op de demonstratie-tafel.) Goed, ik probeer jullie dus nu te overtuigen dat die buis een kracht omhoog uitoefent. Tenminste: ik was het met Onno eens, Jet was het er niet mee eens, we gaan kijken of we het eens kunnen worden. (Legt een gewichtje op het stuk schuimrubber, waardoor dit ongeveer 1 cm ingedrukt wordt.) Als ik dat ding hierop leg, dan wordt-ie ingedrukt, hè? Ik moet eigenlijk iets zwaarders hebben...
- 35 Jet Nou ik geloof je wel, hoor...
- 36 LR Ja? Dat geloof je wel... (Gegrinnik in de klas.) Als je nou... eh... Dus: dat schuimrubber wordt ingedrukt, je legt er iets zwaars op. Als je er nou niks zwaars op legt, ik duw hem in en laat hem los. (Doet dit ook met zijn wijsvinger.) Wat gebeurt er dan?
- 37 Jet Dan komt-ie weer omhoog.
- 38 LR Dan komt-ie weer omhoog. Hoe komt dat dan?
- 39 Jet Jah, omdat je er niks op legt. (In de trant van: "... natuurlijk")
- 40 LR Ja-ah, maar wat doet-ie dan – als hij omhoog komt? ... dan drukt hij toch omhoog...?
- 41 Jet (Verbaasd-verward.) Huh?
- 42 LR (Met iets meer nadruk.) Dan drukt hij toch omhoog...?
- 43 Jet Nee, hij komt gewoon terug in zijn oorspronkelijke staat.
- 44 (Klas reageert hier (direct) op met de gevoelsinhoud: "Oh-oh, wat doet ze moeilijk zeg".)
- 45 Jet (Niet van haar stuk te krijgen.) Nee, ik vind dat er niets mee te maken hebben hoor!
- 46 LR Nee? Ik druk hem in, ik leg er iets op (Doet dit ook.) ... en hij duwt het omhoog, dan is dat een kracht omhoog...?
- 47 Jet ... Tja, dat vind ik heel raar hoor.
- 48 LR Ja?
- 49 Jet Ja! Dat is... (Ondertussen beginnen enkele medeleerlingen zich te roeren. Jet, iets minder zeker van zichzelf, maar wel volhardend.) Dat is niet ... ja, nee... dat is niet een kracht. Ik vind het niet echt een kracht.
- 50 LR Als jij iets, iets omhoog wilt duwen, dan moet je daarvoor kracht uitoefenen. En nu... (Duwt gewichtje in het schuimrubber.) ... hij duwt hem in en hij duwt hem weer omhoog. (Laat het gewichtje terugveren.)
- 51 Jet Jah...
- 52 LR ... en dat vind je geen kracht...?
- 53 Jet Nee.
- 54 LR Dat vind je geen kracht... want dat is toch hetzelfde... Vind je dit dan wel een kracht? Als-ie naar beneden valt?
- 55 Jet (Beslist.) Ja-ah, dat is de zwaartekracht.
- 56 LR Dus: de beweging naar beneden komt wel door een kracht, maar als hij omhoog beweegt... (Laat gewichtje nog eens omhoog veren door het schuimrubber.) ... is

- dat niet door een kracht...?
- 57 Jet Nee.
- 58 (Nu in de klas ronduit gelach (niet negatief) als commentaar.)
- 59 LR (Blijft serieus.) Als ik nu... Ik gooi hem omhoog hè, zo... (Doet dit.) ... hoep (En vang het gewichtje weer op.)
- 60 Jet (Begint om de aandoenlijkheid van de situatie te schateren.)
- 61 LR Is dat een kracht of niet?
- 62 Jet Van je hand wel, ja.
- 63 LR Van mijn hand wel. En nu laat ik het door het schuimrubber doen... (Laat gewichtje nog eens omhoog veren door het schuimrubber.) ... en dan is het geen kracht meer...?
- 64 Jet (Moet er nog steeds een beetje om lachen.) Nee!
- 65 LR Wat is nou het verschil?
- 66 Jet (Weer serieus.) Nee, die beweging gaat vanzelf. Dat is gewoon zo. (Er wordt om gelachen.) Ja, ik vind dat raar hoor!
- 67 LR Dus omdat het vanzelf gaat, is het naar jouw gevoel geen kracht...? Als hij vanuit zichzelf nu een mep zou geven, dan zou dat een kracht zijn?
- 68 Jet Ja.
- 69 LR Ja ja... Goed. Daar komen we dus niet zo erg goed uit. Volgens mij is er dus wel een kracht, als je hem indrukt en Jet vindt dat nog steeds geen kracht. Ik laat dat even zo. Laat ieder er dan voorlopig maar over denken hoe die wil. Ik zou wel willen weten wat de anderen vinden. Wie is het nou met Jet eens, dat eigenlijk... Gewoon, niet voor de flauwekul... Als ik nou dit indruk en ik laat hem los en ik zeg: daar is nou een kracht werkzaam, wie vindt dat Jet gelijk heeft, ze zegt: eigenlijk vind ik dat nou geen kracht. Eerlijk zeggen, wie vindt dat? (Jet.)
- 70 Wie vindt dat ik gelijk heb? Je mag het ook niet-weten of zo. Wie vindt dat ik gelijk heb? (8 à 9 vingers.) Wie weet het niet? (Onno, Camiel en Johan (weifelend), 1 à 2 hebben geen vinger opgestoken.)
- 71 Jullie weten het niet, jullie twifelen wie er gelijk heeft. Oké, nou prima. Dat laten we even zo. (Naar Jet toe). Misschien dat het me later lukt je toch nog te overtuigen. Eh, het verschil tussen het schuimrubber en het metaal is dan, volgens mij, dat je dat metaal niet zo goed kunt zien inveren, maar dat dat ook die veerkracht heeft waardoor het terug kan drukken. Dus het metaal is harder en – dat zeg ik dan – het wordt naar beneden gedrukt, maar het veert terug en geeft daardoor een tegenkracht. Goed. Da's eigenlijk wel leuk dat we het nog niet eens zijn.

Volgens ons is dit protocol *illustratief* voor een aantal problemen dat zich in het natuurwetenschappelijk onderwijs voordoet en dat, naar onze verwachting, zeer herkenbaar zal zijn voor iedereen die daarbij betrokken is, hetzij als leerling, leraar of onderzoeker. Maar voordat we die problemen in detail gaan bespreken, willen we eerst wijzen op twee punten waarover iedereen het hopelijk eens zal zijn.

Het eerste punt betreft de precieze situaties in de context waarvan de discussie plaats vindt. Daarvan zijn er zeven: de ruiter op de luchtkussenbaan (1); een gewicht dat valt (24); een gewicht dat rust op de vingers van de leraar (24); het schuimrubber dat een beetje ingeduwd wordt door een gewicht (34); het schuimrubber dat weer naar boven komt nadat het ingedrukt is geweest (36-38); het gewicht dat naar boven komt nadat het dieper in het schuimrubber was gedrukt (50, 56, 63); het gewicht dat wordt geworpen door de leraar (59).

Het tweede punt betreft de zeer ervaren leraar. Hij staat open voor zijn leerlingen en neemt ze zeer serieus. Hij probeert adequaat te reageren en improviseert zo goed als hij kan. Desalniettemin slaagt hij er niet in om te bereiken wat hij in gedachten heeft en geeft dat ook eerlijk toe. Welnu, hoe kunnen we dit protocol begrijpen en wat kunnen we er van leren?

8.3.3 Verschillende analyses van bovenstaand protocol

De 'gewone leraar'

Wij denken dat 'de gewone leraar' de beschreven situaties zal herkennen vanuit zijn dagelijkse praktijk en deze min of meer als volgt zal analyseren. De leraar in het protocol doet zijn uiterste best om zichzelf begrijpelijk te maken voor zijn leerlingen, in het bijzonder doet hij al wat hij kan om Jet's tegenwerpingen weg te nemen (24, 34, 46, 63, 71). Jet blijft echter verwarrende tegenwerpingen maken (18-20, 39, 43, 66), waarschijnlijk omdat zij de wetten van Newton niet begrijpt (15-16, 26-27). Volgens deze analyse zou je zelfs kunnen zeggen dat de leraar Jet teveel aandacht geeft. De andere leerlingen geven immers duidelijk aan dat Jet volgens hen alleen maar vervelend doet (21, 44, 58), waarschijnlijk omdat de meesten van hen de uitleg van de leraar vanaf het begin wél begrepen hebben (70). Misschien heeft Jet gewoon haar huiswerk niet gemaakt of heeft ze niet goed genoeg opgelet toen de video werd vertoond. Hoe dan ook, het lijkt beter dat zij wat extra huiswerk doet, zodat zij de uitleg de volgende keer wel kan begrijpen. Een bij deze analyse aansluitend onderwijsadvies kan dus zijn om Jet niet zoveel aandacht te geven. En als de leraar Jet, desalniettemin, toch wil overtuigen, zou het het beste zijn als hij haar apart zou nemen en haar nog eens in detail dit probleem zou uitleggen.

Misconcepties

Een enigszins andere analyse gaat uit van de veronderstelling dat Jet *misconcepties* heeft, dat wil zeggen ideeën die conflicteren met correcte natuurkundige ideeën. Terwijl zij enerzijds uitgaat van, of op z'n minst niet protesteert tegen, het correcte idee dat de zwaartekracht naar beneden werkt op de ruiter in rust (1-2, 9-10), heeft zij anderzijds tegelijkertijd het verkeerde idee dat de baan geen tegendruk naar boven uitoefent (16). Aan de andere kant stemt zij ermee in dat wanneer je een zwaar gewicht op je vingers zet, jijzelf wél een tegendruk dient uit te oefenen (24-27). En terwijl ze, terecht, van mening is dat wanneer het gewicht naar beneden valt deze neerwaartse beweging veroorzaakt wordt door de zwaartekracht (54-59), heeft zij tegelijkertijd de misconceptie dat, wanneer het gewicht vanwege het schuimrubber naar boven toe beweegt, deze beweging niet door een kracht wordt veroorzaakt (56-57). Desalniettemin zegt zij weer terecht dat wanneer je het gewicht naar boven werpt, deze opwaartse beweging veroorzaakt wordt door de kracht van je hand (59-62).

Je zou dus het volgende kunnen concluderen: Jet kent het bestaan van de zwaartekracht en weet dat deze op alles naar beneden gericht werkt. In sommige duidelijke gevallen, zoals een gewicht op je vingers, weet zij dat er een tegenkracht nodig is; maar in minder duidelijke gevallen, zoals 'de ruiter op de luchtkussenbaan' en 'het gewicht op het schuimrubber' heeft zij de misconceptie dat er geen tegenkracht nodig is.

Zo'n analyse in termen van leerlingen die misconcepties hebben is (was?) niet ongevoel. Er zijn allerlei soorten misconcepties opgespoord, hoofdzakelijk met behulp van vragenlijsten. In aansluiting hierbij zou men het bovenstaande protocol ook kunnen opvatten als een soort vragenlijst. Een vragenlijst die dan uit zeven items bestaat, waarvan ieder correspondeert met één van de zeven situaties die in het protocol aan de orde komen. Elk item vraagt dan, als het ware, of de zwaartekracht werkzaam is en of er ook nog andere krachten worden uitgeoefend.

Uit Jet's antwoorden op deze 'vragenlijst' zouden we dan kunnen concluderen, zoals vaak in dit soort onderzoeken wordt gedaan, dat we hier te maken hebben met één van die voorbeelden van een leerling die inconsistent redeneert, en uitgaat van verkeerde 'epistemological commitments'. Immers, zij schijnt zich ook niet bewust te zijn van het feit dat de belangrijkste wetten van de natuurkunde verondersteld worden algemeen geldig te zijn.

Eén manier waarop het verschil tussen de eerste en deze analyse duidelijk kan worden gemaakt, hangt samen met de wijze van inschatting van leerlingen als Jet. Terwijl we in de eerste analyse Jet vooral beschouwden als een leerling die niet goed genoeg heeft opgelet, alleen maar vervelend is, of voor wie natuurkunde eenvoudigweg te moeilijk lijkt, zouden we op grond van de tweede analyse Jet juist moeten beschouwen als een leerling met een voorbeeldige houding. Omdat de andere leerlingen gewoon accepteren wat de leraar zegt, is het in feite veeleer hun houding die als problematisch beschouwd moet worden voor inzichtsvol leren. Het is juist deze houding die leidt tot het blijven voortbestaan van misconcepties. We mogen immers, op grond van de ervaring met onderzoek naar misconcepties, rustig aannemen dat veel van de andere leerlingen, bij doorvragen, precies dezelfde misconcepties zullen blijken te hebben als Jet. Volgens deze analyse in termen van misconcepties zou het daarom een gepast onderwijsadvies zijn om niet alleen Jet, maar ook de andere leerlingen uit te dagen hun misconcepties naar voren te brengen. Immers, werkelijk inzicht kan, vanuit dit perspectief, alleen resulteren uit een gecombineerd proces van het *aanleren* van correcte ideeën, samen met het *afleren* van misconcepties. De leraar zal er daarom het beste aan doen om deze misconcepties gericht aan te pakken, bijvoorbeeld door leerlingen zowel te vertellen wat zij wel, als wat zij niet moeten denken, ondertussen tevens benadrukkend en demonstrerend dat de natuurwetten universeel toepasbaar zijn.

Alternatieve concepties

Een derde analyse gaat ervan uit dat Jet weliswaar ideeën heeft die conflicteren met de geaccepteerde natuurkundige ideeën, maar voegt daar onmiddellijk aan toe dat dit volstrekt niet verrassend is. *"In some cases, prior knowledge acquired by informal learning or through cultural transmission of 'folk knowledge' is inconsistent with the formal knowledge to be acquired during schooling. This is particularly likely in the natural sciences, where prior experiences, though categorized as naive from a scientific perspective, provide reasonable explanations to guide daily behaviour."*²¹¹

²¹¹ O.R. Anderson (1992). Some relationships between constructivist models of learning and current neurobiological theory, with implications for science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 1037-1058.

Onderzoekers die van dit standpunt uitgaan, geven er daarom ook de voorkeur aan om de ideeën van leerlingen *preconceptions* of *alternatieve conceptions* te noemen, in plaats van misconceptions. In plaats van te benadrukken dat leerlingen, vanuit wetenschappelijk gezichtspunt gezien, incorrecte ideeën hebben, proberen zij deze alternatieve conceptions, die leerlingen in hun dagelijks leven lijken te gebruiken, juist zo goed mogelijk te beschrijven. Voor zover het bijvoorbeeld de ideeën van leerlingen over kracht en beweging betreft, hebben onder andere Gunstone & Watts²¹¹ een aantal ‘intuïtieve regels’ geformuleerd, zoals: krachten hebben met levende dingen te maken; als een voorwerp niet beweegt, werkt er geen kracht op; als een voorwerp beweegt, werkt er een kracht op in de richting van die beweging, etc. Aansluitend bij het probleem in ons protocol formuleert Clement²¹¹ de volgende, wat hij noemt, “*deep seated*” alternatieve conceptie: “*static objects as barriers that cannot exert forces.*”

Op grond van deze nieuwe analyse kunnen we zeggen dat uit het protocol blijkt dat het redeneren van Jet bepaald wordt door zulke intuïtieve regels. Ook deze interpretatie leidt tot de aanvullende conclusie dat leerlingen in verschillende contexten inconsistent redeneren. Zo zal, bijvoorbeeld, de bovenstaande regel die kracht associeert met de bewegingsrichting, door Jet zeker in verschillende situaties gebruikt worden, maar niet in haar redenering over de opwaartse beweging van het gewicht door het schuimrubber. Dikwijls probeert men deze aanvullende conclusie plausibel te maken door er op te wijzen dat er, vanuit alledaags perspectief, geen behoefte zou bestaan aan coherentie of algemene toepasbaarheid van ideeën in een groot aantal situaties. Soms wordt dit zelfs voor vanzelfsprekend aangenomen. Grandy & Hamilton²¹¹, bijvoorbeeld, schrijven over de theorieën van leerlingen als volgt: “*Of course, these theories are often incomplete, incoherent and misguided.*”

Tot nu toe hebben we ons in deze analyse slechts gericht op één kant van de medaille, namelijk op de conceptions van leerlingen. In het onderwijs gaat het echter, zoals het protocol laat zien, om de interactie tussen leraar en leerlingen. Als we daarom nu, vanuit het perspectief van alternatieve conceptions, op deze interactie focussen, dan kan het protocol in zekere zin opgevat worden als een botsing tussen twee werelden, enigszins vergelijkbaar met de botsing van incommensurabele wereldbeelden waarover Kuhn heeft geschreven. Aan de ene kant redeneert Jet vanuit haar inconsistente referentiekader; de leraar, aan de andere kant, redeneert met het Newtoniaanse krachtbegrip en doet dit op een consistente manier. Zijn kennis en epistemologische ‘commitments’ zijn immers zodanig dat hij weet dat begrippen en wetten van de natuurkunde algemeen toepasbaar zijn. Men zou daarom kunnen zeggen dat de leraar en Jet min of meer in verschillende werelden leven. Zij ‘zien’ dan ook niet dezelfde objecten en gebeurtenissen omdat de waarneming theorie-geladen is. In ieders wereld worden verschillende concepten gebruikt, deel uitmakend van verschillende soorten kennis

R. Gunstone & M. Watts (1985). Force and motion. In: R. Driver, E. Guesne & A. Tiberghien (Eds.), *Children's Ideas in Science* (pp. 85-104). Milton Keynes: Open University Press.

J. Clement (1993). Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 1241-1257.

R. Grandy & R. Hamilton (1992). Prototypes and conceptual change. In: S. Hills (Ed.), *The History and Philosophy of Science and Science Education: Volume I* (pp. 435-448). Kingston: Queen's University.

met verschillende karakteristieken en probleemoplossingsprocedures. Volgens deze analyse is het volstrekt begrijpelijk dat Jet en de leraar elkaar niet begrijpen en dat het onderwijsproces faalt. Anderson²¹¹ schrijft bijvoorbeeld: *“These well-entrenched alternative conceptions (or misconceptions from the viewpoint of the scientist) can have profound effects on the students’ capacity to accept and internalize scientific explanations that may be contradictory to prior experience.”*

Gunstone & Watts²¹¹ wijzen in dit verband op het belang van taal: *“The issue of language is difficult and complex. Students use language which is meaningful to students; teachers use language which is meaningful to teachers. There are a range of important teaching implications to be derived from an understanding of language and its role in learning.”*

Leerlingen moeten daarom, zegt men, een proces van ‘conceptual change’ doormaken, een verandering in wereldbeeld dat enigszins vergelijkbaar is met een Kuhniaanse wetenschappelijke revolutie.

Een globaal onderwijsadvies, waarover alle alternatieve-conceptie onderzoekers het eens zijn, is dat men daarom uit moet gaan van en gevoelig moet zijn voor de manier waarop leerlingen de wereld zien. Verderop zullen we de belangrijkste strategieën, die vanuit deze opvatting worden voorgesteld *“to overcome the dominance of an alternative conception”* (Clement²¹¹), verder bespreken.

8.3.4 Onze eigen analyse

Tekortkomingen in de voorgaande analyses

Zowel de analyse van de ‘gewone leraar’, als de analyse in termen van misconcepties beginnen en eindigen met de correcte natuurkunde als enige norm en standpunt van waaruit over onderwijs gesproken wordt. In beide analyses is de hoofdconclusie, immers, dat Jet verkeerde ideeën heeft. Deze conclusie is, naar ons idee, echter toch wat prematuur. Natuurlijk zijn we het ermee eens dat Jet de wetten van Newton nog niet kent en dat zij dingen zegt die een natuurkundige niet zou zeggen, of in ieder geval niet in die woorden. Echter, van een ideeënconflict zou alleen sprake zijn als we veronderstellen dat Jet haar uitdrukkingen waarin het woord ‘kracht’ voorkomt, ook op dezelfde manier gebruikt en begrijpt als een natuurkundige. Maar, is het terecht om haar uitspraken op die manier te interpreteren?

Een soortgelijke opmerking kan gemaakt worden over de analyse in termen van alternatieve concepties. Jet wordt geacht te redeneren vanuit een alledaags perspectief, waarin geen noodzaak zou zijn voor coherentie of algemene toepasbaarheid in een veelheid van situaties. Echter, op grond van de manier waarop Jet argumenteert, lijkt het duidelijk dat zijzelf totaal geen incoherentie ervaart. Zelfs niet wanneer het haar duidelijk is dat de leraar haar expliciet op haar incoherentie lijkt te wijzen (56-65). Haar probleem lijkt eerder te zijn dat zij niet kan begrijpen dat de leraar de voor haar toch zo vanzelfsprekende punten niet begrijpt (20, 43, 66). Is het daarom wel juist om te concluderen dat Jet incoherent redeneert?

Zowel de analyse in termen van misconcepties, als de analyse in termen van alternatieve concepties wijzen erop dat de ideeën van leerlingen op enigerlei wijze dienen te worden aangepakt. Om de noodzakelijk geachte ‘conceptual change’ te bewerkstelligen, is een aantal meer specifieke strategieën voorgesteld. Zo zouden leerlingen ruime

gelegenheid moeten krijgen om hun eigen ideeën te uiten en te bediscussiëren, waarna de status van hun alternatieve ideeën zou moeten worden verlaagd, bijvoorbeeld met behulp van conflict-, overbruggings-, of analogie-situaties. Wij willen er echter op wijzen dat dit nu precies datgene is wat de leraar in het protocol probeert te doen. Hij geeft Jet alle vrijheid om zich te uiten (48, 52, 61), hij gebruikt overbruggingssituaties en analogieën (24, 28, 50-54, 71), hij probeert Jet's ideeën direct te bespreken en een conflict op te roepen (50, 54, 65). En toch slaagt hij niet. Waarom?

De globale structuur van de discussie

Laten we daarom het protocol nog eens opnieuw bekijken. Een eerste punt van belang is dan dat de leraar zijn gesprek met Jet opvat alsof zij een *verschil van mening* hebben over de vraag: 'Oefent de luchtkussenbaan werkelijk een kracht uit?' (34, 69). In overeenstemming daarmee ziet hij het als zijn taak om Jet ervan te overtuigen dat zijn opinie de juiste is (34, 71). Hij doet dit niet door te argumenteren in termen van de wetten van Newton, omdat hij er waarschijnlijk terecht van uitgaat dat dat geen succes zal hebben, maar door min of meer ostentatief en vergelijkend te wijzen op toch steeds duidelijker zichtbare gevallen van 'krachten die werken'.

Tenslotte beschouwt de leraar zijn poging als mislukt: "Ik denk dat er een kracht is als je dit indrukt en Jet denkt nog steeds dat er dan geen kracht is" (69). Gegeven dat dit de manier is waarop hij de situatie evalueert en dat hij geen andere manier kan bedenken om Jet alsnog te overtuigen, is het uitstekend dat hij expliciet zegt dat hij de zaak even zal laten rusten (69). Hij benadrukt zelfs het eigenlijk wel grappig te vinden dat zij het nog steeds niet met elkaar eens zijn (71).

Een verschil van mening?

Maar is het wel terecht dat de leraar zijn gesprek met Jet interpreteert alsof zij een verschil van mening hebben? Wij denken van niet. Natuurlijk is Jet het ermee eens dat een ruit die ondersteund wordt door een luchtkussenbaan in zeker opzicht veel lijkt op een gewicht dat ondersteund wordt door de vingertoppen van de leraar. In beide gevallen wordt immers voorkomen dat er een object naar beneden valt. En natuurlijk is Jet het ermee eens dat het omhoog gooien van een gewicht en het omhoog komen van het gewicht door het schuimrubber overeenkomstige zaken zijn, in die zin dat het gewicht in beide gevallen naar boven toe wordt bewogen. Ook zal de leraar het er zeker mee eens zijn dat het stuk schuimrubber en de metalen baan niet *uit zichzelf* iets naar boven kunnen duwen, of een mep kunnen geven, op de manier zoals wij dat kunnen (16, 29, 33, 67-68). Of dat het schuimrubber helemaal uit zichzelf terug zou kunnen veren, zonder dat wij eerst iets hoeven te doen (66). En zonder twijfel zou Jet het ook met de leraar eens kunnen gaan worden dat de metalen baan veel lijkt op het stuk schuimrubber, in die zin dat die baan ook een beetje veerkrachtig is, ook al is dat niet zo goed zichtbaar (28, 71).

De leraar en Jet lijken het daarom eens te zijn over alle overeenkomsten en verschillen tussen de diverse situaties. Aan het eind van hun discussie lijkt de leraar zelfs min of meer in staat om te voorspellen wanneer Jet zal gaan zeggen dat er wel een kracht werkt en wanneer niet (56, 63, 67). Desalniettemin hebben zij een voortdurend en onopgelost geschil. Als hen de vraag zou worden gesteld: 'Oefent de baan een kracht

uit?’, of: ‘Oefent het schuimrubber een kracht uit?’, dan zou de leraar ‘ja’ antwoorden en Jet ‘nee’ (34, 71).

De kern van het probleem

Hoe kan het dan dat, als er geen echt verschil van mening is tussen Jet en haar leraar, hun gesprek toch uitloopt op een ja-nee patstelling? Om deze vraag te beantwoorden vinden we het nuttig om, net als Gunstone & Watts²¹¹, het aspect van de taal naar voren te brengen (althoewel op een wat andere manier als zij). Wij doen dit door te veronderstellen dat de leraar en Jet enigszins verschillende ‘taken’ spreken. In het bijzonder veronderstellen we dat de uitdrukking ‘een kracht uitoefenen’ voor de leraar en Jet niet dezelfde *betekenis* heeft. Ofwel, dat zij deze (of verwante) uitdrukking(en) niet op dezelfde manier gebruiken en begrijpen. Dit lijkt een redelijke veronderstelling, gegeven dat de leraar de uitdrukking in Newtoniaanse zin gebruikt, terwijl Jet zeer waarschijnlijk deze Newtoniaanse taal nog niet kent.

Laten we om te beginnen eerst duidelijk maken dat, gegeven de voorgaande veronderstelling, hun ja-nee patstelling niet impliceert dat ze tegenovergestelde dingen geloven, dat wil zeggen dat zij conflicterende ‘beliefs’ over de wereld hebben. Het feit dat de leraar ‘ja’ en Jet ‘nee’ antwoordt op de vraag ‘Oefent het schuimrubber een kracht uit?’ geeft niet noodzakelijkerwijs aan dat zij tegenovergestelde claims maken ten aanzien van het optreden van een specifiek soort gebeurtenis. Om na te gaan wat het dan wel aangeeft zullen we verdere aannames moeten maken over de (verschillende) betekenissen die Jet en de leraar toekennen aan de uitdrukking ‘een kracht uitoefenen’. We zullen laten zien dat dit op zo’n manier gedaan kan worden dat de leraar, door het uiten van de (zijn) zin ‘Het schuimrubber oefent een kracht uit’, gegeven de betekenis die hij aan deze uitdrukking toekent, terecht beweert dat er een bepaald soort gebeurtenis plaatsvindt, terwijl Jet, door het uiten van de (haar) zin ‘Het schuimrubber oefent geen kracht uit’, gegeven de betekenis die zij toekent aan deze uitdrukking, terecht het plaatsvinden van een (ander) soort gebeurtenis ontkent. Voor wat de leraar betreft is er hier geen probleem: met het uiten van zijn zin ‘Het schuimrubber oefent een kracht uit’, gegeven dat hij deze uitdrukking op Newtoniaanse wijze gebruikt, beweert hij terecht dat er een gebeurtenis plaatsvindt die niet zou zijn voorgekomen als het schuimrubber daar niet was geweest (namelijk de opwaartse beweging van het gewicht). Maar hoe zit het met Jet? Kunnen we ook een veronderstelling maken ten aanzien van haar gebruik van de uitdrukking, zodanig dat ook zij gelijk heeft als zij zegt: ‘Het schuimrubber oefent geen kracht uit?’

Om een plausibele aanname te kunnen maken ten aanzien van Jet’s woordgebruik, stellen we eenvoudigweg voor om aan haar uitdrukking ‘een kracht uitoefenen’ een zodanige betekenis toe te kennen dat, telkens als zij ‘ja’ (of ‘nee’) zou antwoorden op de vraag ‘Oefent dit een kracht uit?’, zij daarin volgens ons ook gewoon gelijk heeft. Onder de situaties in het protocol zijn er twee waarin Jet ‘ja’ antwoordt, namelijk als de leraar het gewicht naar boven gooit, en wanneer hij het gewicht ondersteunt. In de andere situaties antwoordt zij ‘nee’ op de vraag ‘Oefent dit (het schuimrubber, de luchtkussenbaan) een kracht uit?’ Wij veronderstellen dat zij ook ‘ja’ zou antwoorden als, in plaats van de leraar, een ander levend wezen iets ondersteunt of omhoog werpt,

of als een levend wezen nog iets anders dan dat zou doen (bijvoorbeeld een ander voorwerp in beweging brengen, een zet geven, of vervormen). Zij geeft zelfs aan dat zij ook 'ja' zou antwoorden voor het geval dat een niet-levend voorwerp, uit zichzelf, gebeurtenissen als de zojuist genoemde zou veroorzaken (67-68). Daarom stellen wij voor om de volgende aanname te maken: voor Jet is de uitdrukking '... oefent een kracht uit' van toepassing op een object, wanneer er een gebeurtenis plaatsvindt die dat object uit zichzelf heeft veroorzaakt; of als het een object is dat, uit zichzelf, iets zou kunnen laten gebeuren met een ander object, maar het in plaats daarvan alleen maar ondersteunt.

Als wij Jet op deze manier interpreteren, zijn wij het met haar eens dat, als de ruiter rust op de luchtkussenbaan, haar zin 'De luchtkussenbaan oefent een kracht uit' niet waar is, eenvoudigweg omdat de baan, uit zichzelf, niet iets kan laten gebeuren met de ruiter (bijvoorbeeld omhoog werpen). Met haar zin 'Het schuimrubber oefent geen kracht uit', ontkent ze dus, gegeven bovenstaande interpretatie, dat het schuimrubber, uit zichzelf, iets zou hebben veroorzaakt. Met die uitspraak ontkent ze echter niet dat het gewicht naar boven toe beweegt, noch dat het schuimrubber daar een rol in speelt, maar alleen (en terecht) dat het schuimrubber dat uit zichzelf zou hebben veroorzaakt. Het is veeleer de leraar die, door het gewicht diep in het schuimrubber te drukken en het vervolgens terug te laten komen in zijn oorspronkelijke toestand (43), in feite de opwaartse beweging van het gewicht heeft veroorzaakt. Wij beweren dus dat Jet 'ja' zou hebben geantwoord als haar gevraagd was: 'Oefent de leraar een kracht uit?'. Of beter, haar positieve antwoord zou onze interpretatie hebben ondersteund.

Volgens deze analyse is het conflict dat de leraar en Jet denken te hebben (34, 69) slechts schijnbaar. Als de leraar zou hebben geweten hoe Jet 'haar' uitdrukking gebruikt en begrijpt, zou hij het eens zijn geweest met haar uitspraak dat de luchtkussenbaan geen kracht uitoefent. Dat hun discussie uitloopt op een ja-nee patstelling komt dus niet doordat zij een werkelijk meningsverschil hebben, maar omdat beiden er ten onrechte van uit gaan dat de uitdrukking voor hen een identieke betekenis heeft.

Falende communicatie

Volgens onze analyse redeneert Jet helemaal niet incoherent. Of beter gezegd, we hebben haar zodanig geïnterpreteerd dat zij, volgens ons, haar uitdrukking 'een kracht uitoefenen' terecht en consistent gebruikt in de verschillende situaties uit het protocol. Niet alleen redeneert zij dus niet inconsistent, wij zijn het feitelijk ook nog helemaal met haar eens. Wij interpreteren het gesprek dan ook niet als een botsing tussen twee conflicterende wereldbeelden, maar als een voorbeeld van falende communicatie. De bron van de miscommunicatie is dat de leraar en Jet denken dat zij dezelfde taal spreken, terwijl het in feite gaat om verschillende (alhoewel gelijkkluidende) talen. Omdat zij zich hier niet van bewust zijn, kunnen de leraar en Jet, als het ware, ertoe komen om van elkaar te denken dat zij in verschillende werelden leven. Beiden kunnen het gevoel hebben gekregen dat er een kloof tussen hen was; Ten Voorde²¹² noemt dit een

²¹² H.H. ten Voorde (1990). On teaching and learning about atoms and molecules from a Van Hiele point of view. In: P.L. Lijnse, P. Licht, W. de Vos & A.J. Waarlo (Eds.), *Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic Particles: A Central Problem in Secondary Science Education* (pp. 81-103). Utrecht: CD-β Press.

kloof van onverstaanbaarheid, die zij niet konden overbruggen. De leraar kan het gevoel hebben gekregen dat hij niet in staat was om (ondanks al zijn inspanningen) Jet te overtuigen. Jet kan het gevoel hebben gekregen dat de leraar haar met alle kracht wilde overtuigen van iets dat zij gewoonweg niet kán geloven: “Tja, dat vind ik echt raar hoor.” (47, 66)

Ramberg²¹² beargumenteert dat Kuhn’s bewering dat wetenschappers die werkzaam zijn binnen incommensurabele paradigma’s hun vak zouden beoefenen in verschillende werelden, op een vergelijkbare manier begrepen kan worden. Ramberg analyseert daartoe het problematische begrip van incommensurabiliteit, waarover Kuhn²¹² zelf schrijft: “*In the transition from one theory to the next words change their meanings or conditions of applicability in subtle ways. Though most of the same signs are used before and after a revolution – e.g. force, mass, element, compound, cell – the way in which some of them attach to nature has somehow changed. Successive theories are thus, we say, incommensurable.*” Ramberg suggereert om incommensurabiliteit niet te interpreteren als een relatie tussen theorieën, wereldbeelden, sociale praktijken, of paradigma’s, maar als “*a characteristic of the discourse that results when we proceed as if we are using the same vocabulary, and so interpret others by applying linguistic conventions to which they are not party.*” In plaats van te concluderen dat de leraar en Jet incommensurabele wereldbeelden hebben, geven wij er daarom de voorkeur aan om te zeggen dat hun communicatie incommensurabel is. Van Kuhn en anderen kunnen we leren dat ook de communicatie tussen wetenschappers dikwijls incommensurabel is, of geweest is. De betekenisveranderingen die besloten liggen in de overgang van de ene theorie naar de andere kunnen inderdaad gemakkelijk aanleiding geven tot situaties waarin twee wetenschappers, net als de leraar en Jet, zich niet bewust zijn van het feit dat zij sommige woorden op verschillende manier gebruiken. En dientengevolge kunnen zij, net als de leraar en Jet, in hun pogingen om elkaar te verstaan haast onoverbrugbare problemen ervaren, zelfs zodanig dat zij het gewoon opgeven. Maar, waar zij dientengevolge tot de conclusie zouden kunnen komen dat zij, als het ware, in verschillende werelden leven, zijn zij in feite, net als de leraar en Jet, slechts ‘door woorden van elkaar gescheiden’.

Wij sluiten deze paragraaf af met te wijzen op het verschil tussen de manier waarop wij het moeilijke en complexe probleem van taal naar voren hebben gebracht, en de manier waarop dit is gedaan door Gunstone & Watts²¹¹. Deze schrijven: “*Language which is meaningful to teachers may, because of students’ views of the world, have a quite different (even conflicting) meaning for students. If we are not sensitive to this, we can unwittingly reinforce the very views we want to change.*”

Wij zijn het er uiteraard mee eens dat taal die betekenisvol is voor de leraar, inderdaad een andere betekenis kan hebben voor de leerling. Dit is, volgens ons, precies het probleem voor Jet en haar leraar. Echter, dit komt *niet* doordat leerlingen alternatieve ‘beliefs over de wereld’ zouden hebben, dat wil zeggen ‘beliefs’ die veranderd zouden

B.T. Ramberg (1989). *Donald Davidson’s Philosophy of Language: An Introduction*. Oxford: Basil Blackwell.

T.S. Kuhn (1970a). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: The University of Chicago Press.

T.S. Kuhn (1970b). Reflections on my critics. In: I. Lakatos & A. Musgrave (Eds.), *Criticism and the Growth of Knowledge* (pp. 231-278). Cambridge: Cambridge University Press.

moeten worden (hierbij interpreteren wij dus wat Gunstone & Watts 'views of the world' noemen als 'beliefs about the world'). Volgens ons is er eenvoudigweg geen 'identity of meaning' met betrekking tot sommige termen, omdat wetenschappers ertoe gekomen zijn om daaraan een nogal specifieke betekenis toe te kennen. Daarom zouden we liever zeggen dat als men daar niet gevoelig voor is, men schijnbare conflicten creëert en langs elkaar heen praat (incommensurabele communicatie).

In onze eigen analyse zijn wij er niet van uitgegaan dat Jet alternatieve 'beliefs' heeft. Integendeel, wij hebben verondersteld dat Jet's 'beliefs' prima in orde zijn en, daarvan uitgaande, hebben wij betekenis toegekend aan haar uitdrukking 'een kracht uitoefenen'. Men zou dus kunnen zeggen dat wij, in plaats van uit te gaan van 'identity of meaning', zijn uitgegaan van 'identity of belief'. Op deze manier, dat wil zeggen door te zoeken naar zoveel mogelijk gemeenschappelijks met Jet, hebben wij haar niet geïnterpreteerd als een ander wereldbeeld of andere 'beliefs' te hebben, maar als een andere, gelijkkluidende, taal te spreken. Gegeven dat wij het dan volledig eens zijn, en dat er dus niets verkeerd is aan haar 'beliefs', hoeven wij die dus ook niet te veranderen. Maar natuurlijk zien wij wel de noodzaak om haar veel te doen toevoegen aan wat zij al weet.

Laten we het bedoelde verschil nog eens op een andere manier proberen duidelijk te maken. Alhoewel wij denken dat Gunstone, Watts en Clement zich bewust zijn van het feit dat leerlingen het woord 'kracht', of uitdrukkingen die dit bevatten, niet gebruiken op een manier zoals een fysicus dit doet, gebruiken zij desalniettemin het woord 'kracht' in hun formuleringen van de intuïtieve regels of alternatieve concepties van leerlingen, bijvoorbeeld als volgt: leerlingen geloven dat 'static objects are barriers that cannot exert forces'. Daarmee laten zij dus onbeantwoord welke betekenis leerlingen toekennen aan uitdrukkingen die het woord 'kracht' bevatten. In feite laten zij dus ook de vraag onbeantwoord welke 'beliefs' schuil gaan achter de intuïtieve regels en concepties die zij formuleren. Wij, echter, hebben in het voorgaande juist wel geprobeerd deze vraag te beantwoorden, door aan te geven welke betekenis Jet toekent aan de uitdrukking 'een kracht uitoefenen'. Het feit dat zij háár zin: "statische objecten vormen barrières die geen krachten kunnen uitoefenen" voor waar houdt, geeft dienovereenkomstig haar correcte 'belief' weer dat 'statische objecten barrières vormen die niet uit zichzelf iets kunnen veroorzaken (bijvoorbeeld een ander object in beweging brengen of een mep geven)'.

8.3.5 Wat betekent dit alles voor het onderwijzen?

In deze paragraaf willen we bespreken of de verschillen tussen de gegeven analyses ook nog enig belang hebben voor het onderwijs: leiden zij bijvoorbeeld tot verschillende onderwijsstrategieën?

De twee belangrijkste strategieën die gewoonlijk worden voorgesteld op grond van de analyses in termen van misconcepties en alternatieve concepties, zijn het gebruik van conflictsituaties en het gebruik van overbruggings- of analogiesituaties. Zijn deze strategieën nu ook van toepassing in het onderhavige geval? Het idee achter het gebruik van conflictsituaties is om leerlingen te confronteren met een 'discrepant event', dat hen min of meer dwingt om bijvoorbeeld de 'static objects are barriers that cannot

exert forces' conceptie los te laten. Voor ons is deze strategie geen optie. Volgens onze analyse geeft deze conceptie immers het geloof weer dat statische objecten barrières vormen die niet uit zichzelf iets kunnen veroorzaken, en er is geen reden om leerlingen hiervan te laten afzien. Dit wordt ook duidelijk wanneer we proberen om een 'discrepant event' te bedenken dat Jet er toe zou kunnen brengen het niet langer eens te zijn met haar uitspraak 'de luchtkussenbaan oefent geen kracht uit'. Gegeven de betekenis die zij hieraan toekent, zou dan, bijvoorbeeld, de luchtkussenbaan uit zichzelf iets naar boven moeten gooien, of iets een zet moeten geven. Zulke gebeurtenissen zouden inderdaad gelden als 'discrepant event', maar natuurlijk niet alleen voor Jet.

Soortgelijk commentaar geldt voor de andere strategie, het gebruik van analogie-situaties. Clement²¹¹, bijvoorbeeld, probeert leerlingen de 'static objects are barriers that cannot exert forces' conceptie te laten overwinnen. Hij doet dit door te beginnen met een goed gekozen ankersituatie (een hand die een veer induwt). Via eveneens goed gekozen analogie-situaties (een boek op een doorbuigende plank, en op een stuk schuimrubber) probeert hij dan om leerlingen te laten 'zien' dat ook in de doelsituatie (de paradigmatische boek-op-tafel-situatie) een statisch object inderdaad een kracht uitoefent. In de eerste plaats willen we er op wijzen dat Clement's ankersituatie niet geschikt zou zijn voor Jet, gegeven onze interpretatie van haar. Immers, zij zou bevestigend antwoorden op de vraag of de persoon die de veer induwt een kracht uitoefent, maar ontkennend op de vraag of de veer een kracht uitoefent. Bovendien zou zij in Clement's analogie- en doelsituaties ontkennend antwoorden op de vraag of de doorbuigende plank/het stuk schuimrubber/de tafel/het boek een kracht uitoefent. Zij zou het natuurlijk wel eens zijn met het feit dat de ankersituatie en de analogie-situaties gelijk zijn, in die zin dat er in elke situatie iets (de veer, de plank, het schuimrubber) is dat vervormd wordt. En dat de analogiesituaties en de doelsituatie gelijk zijn, in die zin dat er in elke situatie iets is (de plank, het schuimrubber, de tafel) dat voorkomt dat het boek naar beneden valt. En zij zou het eens kunnen worden over het feit dat al de situaties gelijk zijn, in die zin dat ook de tafel een beetje vervormd wordt en dat die, net als de veer, de plank en het schuimrubber, ook een beetje veerkrachtig is. Maar desondanks heeft zij nog steeds gelijk als zij ontkennend zou antwoorden op de vraag 'Oefent de tafel een kracht uit?', op de manier zoals zij die begrijpt. Wij concluderen dus dat Clement's strategie niet kan voldoen aan de taak die hij in gedachten heeft: leerlingen de 'static objects are barriers that cannot exert forces' conceptie laten overwinnen, eenvoudigweg omdat er niet iets is om te overwinnen. Het is niet nodig om hen te laten realiseren dat zij niet langer iets geloven wat ze eerder wel geloofden. Jet, bijvoorbeeld, hoeft het niet oneens te worden met *haar* zin 'De luchtkussenbaan oefent geen kracht uit', maar moet het eens worden met de *leraars* zin 'De luchtkussenbaan oefent een kracht uit'. Daarvoor zal zij echter eerst moeten leren wat de leraar met zijn uitdrukking 'een kracht uitoefenen' bedoelt.

Dit kan nog duidelijker worden als we ons afvragen wat de leraar en Jet bij hun incommensurabele discussie geholpen zou kunnen hebben. "*What the participants in a communication breakdown can do is recognize each other as members of different language-communities and then become translators.*" (Kuhn²¹²). Dit zou ook een oplossing hebben kunnen bieden voor Jet en de leraar. Ofschoon zij een eind op weg waren in het bepa-

len van in welke situaties de ander zegt ‘dit oefent een kracht uit op dat’, zagen zij niet in dat de bron van hun geschil eenvoudigweg ligt in het feit dat zij een verschillende betekenis toekennen aan de uitdrukking ‘een kracht uitoefenen op’. Als zij dat wel hadden gedaan dan zouden zij ‘vertalers’ in plaats van ‘overtuigers’ kunnen zijn geworden. De leraar zou dan hebben gevonden dat Jet de uitdrukking gebruikt in de zin zoals hiervoor aangegeven, en zou het dan met haar eens zijn geweest. Hij zou dan hebben kunnen aangeven dat hij de uitdrukking op een andere manier gebruikt, bijvoorbeeld als volgt: we zeggen ‘x oefent een kracht uit op y’ als er iets gebeurt met y dat niet gebeurd zou zijn als x er niet was geweest. Dus dat de luchtkussenbaan een kracht uitoefent op de ruiters omdat als de baan daar niet was geweest de ruiters naar beneden zou zijn gevallen. En Jet zou daarmee hebben kunnen instemmen. Zij zou dan ook hebben ingezien dat waar volgens haar gebruik van de uitdrukking de overeenkomst tussen Clement’s ankersituatie en analoge situaties irrelevant is, deze overeenkomst wel precies het kenmerk is voor het toepassen van de uitdrukking van de leraar. In elke situatie is er immers een vervorming van iets (de veer, de plank, het schuimrubber) die niet zou zijn gebeurd als iets anders (de persoon, het boek) er niet was geweest. Dat zij zou instemmen met de leraar zou dan niet daaruit voortgekomen zijn dat zij van gedachte veranderd is, maar eenvoudigweg daaruit dat zij dan zou hebben geweten wat de leraar met die uitdrukking bedoelt.

Alleen in Clement’s doelsituatie zou zij werkelijk iets nieuws hebben geleerd, namelijk dat de tafel een beetje vervormd wordt als er een boek op gelegd wordt. Dit geleerd hebbende, zou het juist weer haar kennis van hoe de leraar de uitdrukking gebruikt geweest zijn, op grond waarvan zij dan zou hebben ingestemd met zijn uitspraak dat het boek een kracht uitoefent op de tafel, en andersom.

Volgens ons is er dus geen behoefte aan wat voor strategie dan ook die tot doel heeft om leerlingen de ‘static objects are barriers that cannot exert forces’ conceptie te doen overwinnen. Het bovenstaande wijst eerder op een ander doel. Want hoewel de leraar en Jet volgens de hiervoor aangegeven weg uit hun incommensurabele communicatie hadden kunnen komen, is die uitweg nogal ad hoc van karakter. In het bijzonder zou Jet nog steeds niet hebben geweten wat er nu zo essentieel is aan het ter beschikking hebben van een relatie waaraan twee voorwerpen voldoen wanneer er iets gebeurt met het ene voorwerp, dat niet gebeurd zou zijn als het andere er niet was geweest. Als zij het belang zou hebben ingezien van het kennen van zo’n relatie, zou de leraar eenvoudigweg hebben kunnen aangeven dat, bij wijze van afspraak, men in de natuurkunde de term ‘x oefent een kracht uit op y’ gebruikt om die relatie uit te drukken. De taak wordt dan een manier te vinden om haar het belang van het beschikbaar hebben van zo’n relatie te doen inzien.

Het andere doel dat we hierboven aanstipten betreft nu juist het vinden van zulke manieren. Het zoeken naar wegen om wetenschappelijke termen op een voor leerlingen betekenisvolle manier te kunnen onderwijzen, door bij hen een behoefte te induceren, of op z’n minst goede redenen, voor juist die termen die men van plan is te introduceren. Dit is voor het onderwijs een verre van triviale opgave. In het algemeen kunnen de redenen van leerlingen om bepaalde termen ter beschikking te willen hebben, op het moment dat ze worden geïntroduceerd, immers niet samenvallen met de redenen van de leraar of het curriculum om ze te introduceren, namelijk dat het be-

schikbaar hebben van zulke termen nuttig is in het licht van een verdere ontwikkeling naar een wetenschappelijke theorie.

8.3.6 Rechtvaardiging van onze analyse: het interpretatieprobleem en het principe van welwillendheid

In onze analyse en in het bijzonder bij de methode die we hebben toegepast om uit te vinden wat Jet bedoelt, hebben we zonder dit te noemen sterk gebruik gemaakt van het werk van Donald Davidson. In deze paragraaf zullen we proberen hem expliciet recht te doen door de relatie aan te geven tussen onze analyse en zijn filosofie, en door zijn argumenten te gebruiken om deze analyse te rechtvaardigen. Daarmee beargumenteren we impliciet ook waarom we denken dat een onderwijsstrategie die verloopt volgens de hiervoor geschetste lijnen, de beste mogelijkheden biedt voor inzichtsvol leren²¹³.

Laten we om te beginnen kort onze analyse van de moeizame discussie tussen Jet en de leraar samenvatten. We hebben beargumenteerd dat het probleem niet ligt in een verschil van *belief*, dat wil zeggen in een verschil van mening over hoe dingen zijn in de wereld. In plaats daarvan hebben wij beargumenteerd dat zij een geschil hebben omdat zij zich niet bewust zijn van het feit dat zij niet dezelfde *betekenis* toekennen aan de uitdrukking ‘een kracht uitoefenen’. Om uit te vinden hoe Jet deze uitdrukking gebruikt, hebben wij, in essentie, de volgende methode toegepast. Eerst gingen we na onder welke omstandigheden zij haar zinnen wel of niet van toepassing acht; vervolgens brachten we haar uitdrukkingen in overeenstemming met die van onszelf, in die zin dat de geldigheid van haar zinnen en de geldigheid van onze zinnen systematisch werd veroorzaakt door dezelfde zaken in de wereld. Deze methode kan als volgt kort worden samengevat: ken aan de uitdrukkingen van een spreker zodanig betekenis toe dat zij naar voren komt als consistent en als iemand die (volgens ons) ware dingen gelooft.

Alvorens deze methode nu verder te rechtvaardigen, zullen we eerst de verbinding leggen met Davidson's werk. In onze analyse hebben we impliciet gewezen op de rol die zowel het begrip ‘belief’ als het begrip ‘betekenis’ spelen bij de interpretatie van verbaal gedrag. Davidson geeft in dit verband aan dat bij het vormen van uitspraken, beliefs en betekenissen als het ware samenspannen: wij kunnen te weten komen wat iemand gelooft als we weten welke zinnen hij voor waar houdt en wat hij ermee bedoelt. Maar na op deze wederzijdse afhankelijkheid van ‘belief’ en betekenis gewezen te hebben, geeft Davidson vervolgens aan dat dit aanleiding geeft tot wat het probleem van het interpreteren van verbaal gedrag genoemd zou kunnen worden. Als we alleen weten dat iemand een bepaalde zin voor waar houdt, weten we noch welke betekenis hij aan die zin toekent, noch welk ‘belief’ die zin uitdrukt.

Davidson formuleert dan de beschreven methode als de manier om dit interpretatieprobleem van verbaal gedrag op te lossen. Meestal doet hij dit door de situatie te be-

²¹³ D. Davidson (1980). *Essays on Actions and Events*. Oxford: Clarendon Press.

D. Davidson (1984). *Inquiries into Truth and Interpretation*. Oxford: Clarendon Press.

D. Davidson (1990). The structure and content of truth. *The Journal of Philosophy*, 87, 279-328.

Klaassen²⁰⁶ geeft een goede inleiding op het werk van Davidson.

schouwen waarin het probleem het meest duidelijk naar voren komt: interpretatie van nul af aan ('from scratch'); dat wil zeggen een situatie waarin twee mensen die geen aan elkaar gerelateerde talen spreken, en die onbekend zijn met elkaars talen, alleen gelaten worden om met elkaar te leren communiceren. In zo'n situatie zouden we bovenstaande methode, inderdaad, als vanzelfsprekend toepassen.

Deze methode wordt gerechtvaardigd door ons te realiseren dat onze competentie om iemand anders' verbaal gedrag te begrijpen er *in principe* niet in bestaat dat we elkaars taal kennen. In het bijzonder, om communicatie en wederzijds begrip succesvol te doen zijn, hoeven we geen 'identiteit van betekenis' te vooronderstellen. Het gesprek tussen de leraar en Jet laat zien dat het vooronderstellen van 'identiteit van betekenis' juist tot ernstige communicatieproblemen en niet-begrijpen kan leiden. Davidson wijst er in dit verband op dat zich in onze alledaagse conversaties veel gevallen voordoen waarin we niet kunnen vertrouwen op vooronderstelde 'identiteit van betekenis', en er desalniettemin in slagen om elkaar toch te begrijpen. Te denken valt dan aan ons vermogen om een welgevormde zin te horen, zelfs wanneer de feitelijk geuite geluiden onvolledig of grammaticaal warrig zijn, of om woorden te interpreteren die we nooit eerder gehoord hebben. Wat de methode rechtvaardigt is dat zij ons in staat stelt om het probleem van verbale interpretatie op te lossen, zonder ons te hoeven baseren op de notie van een taal die we al van te voren met elkaar delen. Een van de aspecten die de methode naar voren brengt, is dat onze competentie om elkaars verbaal gedrag te begrijpen essentieel sociaal van karakter is, evenals de begrippen believen en betekenis. Het is immers duidelijk dat de methode alleen werkt in een gemeenschap van denkende wezens die een gemeenschappelijke natuurlijke wereld delen. Of, zoals Davidson het soms uitdrukt, de kleinste eenheid waarin het probleem van interpretatie van verbaal gedrag kan worden opgelost, is een *driehoek*, waarvan twee hoeken gevormd worden door wezens die zich bewust zijn van (en zich bewust zijn van dat de ander zich bewust is van, etc.) de driehoek, en waarvan de derde hoek gevormd wordt door hun gemeenschappelijke wereld van objecten en gebeurtenissen, die onafhankelijk van hun gedachten bestaat. Een ander aspect dat deze methode naar voren brengt is dat onze basiscompetentie bepaald wordt door een principe waar we niet zonder kunnen. Slechts tegen de achtergrond van dat principe vinden de begrippen believen en betekenis hun toepassing. Het gaat hier om wat Davidson het correspondentieprincipe noemt: ken aan elkaars uitdrukkingen zodanige betekenissen toe dat de ander naar voren komt als consistent en een 'believer of truths' (naar eigen maatstaf). Onze competentie kan nu gekarakteriseerd worden als een vorm van theorie-(re)constructie: we (re)construeren de betekenissen die we toekennen aan de uitdrukkingen van een spreker, en opdat we die uitdrukkingen als betekenisvol begrijpen, kan ons proces van reconstructie niet anders dan gestuurd worden door het correspondentieprincipe.

Tot slot willen we nog wijzen op enkele beperkingen van het hierboven gegeven betoog en op de manieren om deze beperkingen te ondervangen. Het correspondentieprincipe gaat uit van de zinnen die een spreker voor waar houdt. De veronderstelling dat een spreker een zin voor waar houdt, vooronderstelt echter tegelijkertijd een heilboel meer over zijn intenties, doelen en waarden. Toen we Jet interpreteerden, hebben we, bijvoorbeeld, stilzwijgend aangenomen dat het niet haar bedoeling was om alleen

maar dwars of recalcitrant te zijn, en dat ze echt duidelijk wilde maken waarom zij de leraar niet begreep. Anders zouden we niet zoveel moeite gedaan hebben om te proberen haar te begrijpen. Deze beperking kan ook als volgt geformuleerd worden: voor het zo goed mogelijk interpreteren van verbaal gedrag is het noodzakelijk om niet alleen rekening te houden met *cognitieve* attitudes, zoals 'belief', maar ook te letten op *evaluatieve* attitudes, zoals 'desire'. Daardoor worden de bronnen van intentionele handelingen, namelijk zowel 'belief' als 'desire', gerelateerd aan 'meaning'. Davidson zegt in feite dat het probleem van interpretatie van verbaal gedrag niet gescheiden kan worden van het meer algemene probleem van interpretatie van alle gedrag, zowel verbaal als anderszins, wat *het* probleem van interpretatie zou kunnen worden genoemd. Het correspondentieprincipe kan bovendien alleen direct worden toegepast op de meest basale gevallen: uitingen die gericht zijn op een gemakkelijk te detecteren gang van zaken, die gepaard gaan met wijzende vingers, etc. Het principe helpt twee mensen, bijvoorbeeld, niet om elkaars meer theoretische begrippen en uitdrukkingen te interpreteren. Om dat laatste wel te kunnen, zijn ze afhankelijk van zowel inductieve als deductieve relaties tussen beliefs. Zij moeten dan, bijvoorbeeld, aannemen dat de ander, net als zichzelf, de meeste waarde hecht aan die hypothese die het sterkst ondersteund wordt door alle beschikbare relevante gegevens. Een andere manier om deze beperking te formuleren, is dat beliefs, desires, intenties, etc. niet alleen geïdentificeerd worden op grond van hun causale relaties met gebeurtenissen en objecten in de wereld, maar ook op grond van hun relaties tot elkaar. Daarom speelt er naast het correspondentieprincipe, ook nog een ander principe een rol bij het oplossen van het interpretatieprobleem. Davidson noemt dat soms het coherentieprincipe: ken zodanige beliefs, desires, intenties, etc. toe aan de ander, dat zij op de juiste manier samenhangen.

Davidson claimt nu dat het algemene interpretatieprobleem inderdaad kan worden opgelost door gecombineerde toepassing van het correspondentie- en het coherentieprincipe. Wij verwijzen naar Davidson²¹³ zelf voor een verdere onderbouwing van dit zogenaamde principe van welwillendheid ('principle of charity'), zoals Davidson de combinatie van beide voorgaande principes vaak noemde. Om zin te geven aan iemands doen en laten, kunnen we niet anders dan hem of haar zodanig interpreteren dat hij of zij naar voren komt als 'largely coherent, a believer of truths and a lover of the good' (naar onze eigen maatstaf).

De fundamentele conclusie is en blijft, ten slotte, dat alle interpretatie afhangt van ons vermogen om een voldoende gemeenschappelijke basis te vinden ('common ground'). Het vinden van die basis is niet een *gevolg* van het elkaar begrijpen, maar een *voorwaarde* daarvoor. Waar het op neer komt is dat men weet dat men 1) met anderen een wereld deelt en veel reacties op wat er in die wereld gebeurt, en 2) met hen een manier van denken gemeen heeft.

8.3.7 Opnieuw de moraal

In de vorige paragraaf ben ik diep ingegaan op het interpretatieprobleem, omdat ik denk dat dit een kernprobleem is. Niet alleen voor succesvolle communicatie, maar

ook voor een succesvolle didactiek. Tenslotte is didactiek niets anders dan communiceren.

Op het moment dat ik dit schrijf hebben we net een verkiezingsstrijd achter de rug. Verkiezingsretoriek is een voorbeeld van ‘non-charitable’ communiceren. Met opzet worden verschillen uitvergroot en karikaturen geschetst van de mening van de ander en wordt er niet naar elkaar geluisterd. Kortom, de ‘common ground’ wordt zo klein mogelijk gemaakt, in feite een situatie van non-communicatie. Het onechte daarvan blijkt als na de verkiezingen twee voormalige opponenten ineens wel ‘charitable’ worden en er toch heel veel ‘common ground’ blijkt te zijn. Het verschil is natuurlijk dat het in dit geval een kwestie van opzet is, van elkaar eerst niet, en daarna wel willen begrijpen, al naar gelang het hen uitkomt. Maar zo gemakkelijk gaat het niet met de uitspraken van leerlingen. De ‘kloof van onverstaanbaarheid’ tussen Jet en de leraar illustreert dat maar al te duidelijk. Toch heb ik in de beschreven casestudies steeds geprobeerd om uiteindelijk ook hier een ‘charitable’ interpretatie te geven. Niet op de systematische manier als hierboven bij het protocol, maar door me globaal in te leven in de wereld van de leerling en, er van uitgaande dat hun uitspraken coherent en grotendeels waar zijn, een interpretatie te geven waardoor we hen ook als zodanig kunnen begrijpen. Als we bewust afzien van een interpretatie in termen van ‘fysisch fout’, biedt onze gemeenschappelijke leefwereld daartoe, ook in voldoende mate, de noodzakelijke ‘common ground’.

In zekere zin is die gemeenschappelijkheid tegelijk een obstakel. Het geeft herkenbaarheid in de zin van: ‘Ja, dat zeg ik zelf ook’. Maar daar moet ik nu aan toevoegen: ‘Wat bedoel ik er dan eigenlijk precies mee?’ Juist omdat die uitdrukkingen zo vanzelfsprekend zijn, is het, in bovenstaande termen, vaak heel moeilijk om te zeggen ‘wat voor beliefs over de wereld’ er precies door worden verwoord. Die blijken dikwijls nog niet zo gemakkelijk te omschrijven! Het kan dan ook best zijn dat mijn interpretatie van deze beliefs, bij nadere bestudering, niet volledig juist zou blijken te zijn, maar zij lijkt me wel voldoende om het principe te illustreren.

Overigens zijn de vier casestudies wat dat betreft niet honderd procent equivalent. Ten aanzien van ‘kracht’ en ‘energie’ kunnen we spreken van een gemeenschappelijke wereld, gebaseerd op handelingen met objecten en ervaringen met gebeurtenissen. Wat leerlingen zeggen, zeggen we zelf ook in alledaagse situaties. Dat geeft aan, zoals we gezien hebben, dat dit ‘belief-systeem’ in principe, mits goed geïnterpreteerd, niet anders dan grotendeels juist kan zijn. Alleen, in de natuurkunde zijn we, om goede redenen, over dezelfde (en andere) situaties op een andere manier gaan spreken. De beschrijving van de wereld is daardoor aangevuld met nieuwe beliefs, die verder strekken dan onze directe ervaringen, maar als we daarbij dezelfde woorden gebruiken, dan kan dat uiteraard heel verwarrend werken. Reden om in het onderwijs hier vooral heel zorgvuldig bij stil te staan, en ook veel aandacht te besteden aan die goede redenen. Het is naar mijn gevoel meer een kwestie van smaak of u dat in ‘stark contrast’ wilt noemen en of er sprake is van diepe herstructurering.

Bij het onderwijs over ‘deeltjes’ ligt de problematiek iets anders. ‘Deeltjes’ maken immers niet echt deel uit van onze leefwereld, al zijn woorden als atoom en molecuul wel gemeengoed geworden. De natuurlijke neiging voor iedereen zal zijn om bij een over-

gang van groot naar steeds kleiner, tot niet meer te ervaren kleinheid, in het denken daarover een min of meer rechtstreekse extrapolatie te laten plaats vinden vanuit de ervaring met macroscopische objecten en hun eigenschappen, naar de microwereld. Immers, hoe zou het anders moeten? Ik denk dan ook dat de woorden atoom en molecuul in de leefwereld van 'leken' geen andere inhoud hebben dan hele kleine brokjes van 'iets'. Echter, als deze brokjes de opbrengst zijn van onderwijs dat gericht was op 'wetenschappelijke' deeltjes, dan is dat uiteraard heel teleurstellend. De didactisch relevante vraag is dan echter niet hoe je deze ideeën herstructureert, maar hoe je voorkomt dat ze überhaupt ontstaan in je onderwijs over 'onze' deeltjes. En, toegegeven, dat is bepaald niet eenvoudig. Extrapolatie over de grenzen van leefwereldervaringen heen, tot het hele grote of hele kleine, het hele warme of hele koude, of het hele abstracte, kan inderdaad leiden tot verkeerde 'beliefs'. Om de eenvoudige reden dat je dan veronderstellingen doet over zaken waar je geen ervaring mee hebt, door extrapolatie van kennis die daarvoor niet 'gemaakt' was, en waarvan je dus ook niet kunt weten of die daar wel geldig is.

Iets anders is aan de hand met het onderwerp radioactiviteit. Ook daar wordt de grens van de normale leefwereld overschreden, doordat zich een nieuw onbekend fenomeen voordoet, waarmee leerlingen geen ervaring kunnen hebben. Begrijpelijk dat dit dan zoveel mogelijk in analogie van wel bekende fenomenen wordt gezien (laserlicht, röntgenstraling, zonnepaneel), al is natuurlijk niet duidelijk in hoeverre de gebruikte analogieën ook geldig zijn. Maar iets anders kun je niet doen. Het redeneren hierover, volgens het beschreven causale patroon, wordt bovendien nog gecompliceerd door basale affectieve noties over risico en gevaar.

Met deze casestudies wordt geïllustreerd dat het niet zo is dat ieder mens zijn eigen volstrekt idiosyncratische ideeën over de wereld construeert, zoals door radicale constructivisten is beweerd. Dan zouden we elkaar immers volstrekt niet meer kunnen begrijpen. Integendeel, er is steeds een duidelijk gemeenschappelijk patroon in die constructies, dat we nog kunnen begrijpen ook. Dit stelt dus duidelijk grenzen aan wat eerder beschreven is als het constructivistische uitgangspunt. Laat het nog steeds zo zijn dat ieder mens nieuwe kennis construeert op grond van al bestaande kennis, maar als die bestaande kennis op voldoende 'common ground' gebaseerd is, en veronderstellend dat de nieuwe informatie daarbij voldoende aansluit, dan zal de variatie in individueel geconstrueerde nieuwe kennis beperkt zijn, en bovendien door onderlinge communicatie alsnog gemeenschappelijk kunnen worden bijgesteld.

In deze zin zijn echter wel enkele voorwaarden geformuleerd waaraan gemakkelijk niet voldaan is. Als deze redenering juist is, dan resulteert voor het natuurkundeonderwijs niet zozeer de opvatting hoe bij het leren van natuurkunde eerst allerlei 'alternatieve denkbeelden van leerlingen' moeten worden afgebroken en vervangen door de natuurkundig correcte ideeën, maar veeleer hoe door productief gebruik te maken van het leefwerelddenken een weg gegaan kan worden die leidt tot en eindigt bij de bedoelde natuurkunde. Hoe kun je leerlingen daarin op een voor hen zinvolle wijze meekrijgen?

Voordat ik daar verder op in ga, wil ik me eerst nog wat preciezer buigen over het begin en eindpunt van die weg. Wat kenmerkt common-sense en wat natuurkunde?

8.4 Over de relatie tussen common-sense en natuurkunde

8.4.1 Algemene karakterisering van de leefwereld

Ons handelen en denken in de leefwereld wordt in directe samenhang bepaald door onze ‘common-sense’ kennis en onze manier van “zur Welt sein”, in een samenspel van vanzelfsprekende know-how en pragmatische attitude. Beiden hebben betrekking op, en volgen uit, de directe ervaring, beleving en ordening van ons dagelijks leven. Onze leefwereld ervaren we in eerste instantie als een wereld van onproblematisch functionerende vanzelfsprekendheden. Intuïtie, inleving, directe aanschouwelijkheid en aannemelijkheid bepalen deze beleving. Normale gebeurtenissen hebben normale oorzaken. Theoretische reflectie speelt daarin, in normale omstandigheden, geen rol. Abstracties vormen zich ‘vanzelf’ door middel van communicatie over gemeenschappelijke ervaringen met ‘peers’ en belangrijke anderen. Daaruit volgt hun sociale karakter, maar ook een mate van gebondenheid aan situaties. De vaagheid van de omgangstaal wordt daarbij opgeheven door de binding aan de situatie. Het ‘doel’ van deze kennis is om in relevante situaties direct en functioneel te kunnen handelen, vanuit het eerder genoemde ‘pragmatisch motief’, zodanig dat de leefwereld onproblematisch en hanteerbaar blijft. Eventuele verstoringen, die als probleem worden ervaren, vragen niet zozeer om een verklaring maar om een oplossing. De impliciete legitimatie van de (handelings)kennis wordt enerzijds gegeven doordat ‘het werkt’, en anderzijds doordat ‘de anderen’ uit de sociale omgeving dat ook doen en vinden. Argumentaties zijn kwalitatief van aard; verklaringen zijn veelal niet nodig (“dat is toch gewoon zo”), en als ze dat wel zijn dan spelen antropomorfe en teleologische motieven hierin vaak een geaccepteerde rol. Het gaat dus niet zozeer om ‘werkoorzaken’, maar om ‘doeloorzaken’, om redenen. Vanwege een meer of mindere mate van situatiegebondenheid, kunnen redeneringen vanuit situatie overstijgend standpunt inconsistent lijken. Kortom: leefwerelddenken en -handelen is niet gericht op systematisch zoeken naar theoretische verklaringen, maar op het zo onproblematisch mogelijk kunnen handelen in en ervaren van de wereld zoals die dagelijks tot ons komt. En wat heel belangrijk is: de leefwereldkennis slaagt er gewoonlijk ook in dit doel te bereiken. Het is dagelijks zinvol functionerende sociale kennis, die stevig geworteld is in handelingen en taal. En voor zover het kennis over een gemeenschappelijk ervaren fysieke wereld betreft, kan het dus ook niet anders of die moet grotendeels gedeeld en juist zijn. Een kwestie van handhaven en overleven.

Naast een grotendeels gemeenschappelijke ‘fysische’ basis, zijn er natuurlijk ook grote culturele en subculturele verschillen in leefwereldkennis, afhankelijk van in welke cultuur of subcultuur je leeft en bent opgegroeid. En van wat als ‘normaal’ gezien wordt. Een ander aspect dat voor ons belangrijk is, betreft de verwetenschappelijking van de leefwereld, met name door de technologie, maar ook doordat natuurwetenschappelijke ‘kennis’ doordringt tot iedereen (DNA, evolutie, kernenergie, atoom, big bang, etc.). Daarvoor geldt, mijns inziens, hetzelfde pragmatische motief. We gebruiken in onze leefwereld allerlei technische en technologische verworvenheden, maar ook theoretische termen, als vanzelfsprekendheden. Die termen hebben een hanteerbare (vage)

betekenis gekregen. Eventuele vragen naar de werking van apparaten betreffen niet hun ‘werkoorzaak’, maar alleen ‘hoe je ze moet bedienen’. Dat is voldoende om ze aan hun doel te laten beantwoorden. Alleen bij storing doet zich een probleem voor, dan moet je wel weten hoe ze werken, en wordt de deskundige te hulp geroepen. Dit illustreert ook dat leefwereldkennis aan ontwikkeling onderhevig is, niet alleen historisch gezien, maar ook als gevolg van opvoeding en onderwijs. Wat voor het jonge kind nog niet vanzelfsprekend is, $2 + 2 = 4$, en geleerd moet worden, is het voor de volwassene wel. Dat ‘wrijving een kracht is’ moet de VWO-leerling met moeite tot zich nemen, maar is voor de fysicus en de docent common-sense. Freudenthal⁶⁸ spreekt in dit verband over common-sense van steeds hogere orde. Het gevolg hiervan kan wel zijn dat je niet meer kunt snappen dat de ander iets niet snapt. Wat voor jou zo vanzelfsprekend is geworden dat je je niet meer herinnert dat het ooit anders is geweest, moet de ander nog leren. Het ‘gesprek’ tussen de leraar en Jet illustreert het communicatieprobleem dat zich dan kan voordoen.

Bovenstaande doet ook de vraag rijzen wat de rol van gespecialiseerde fysieke kennis kan zijn in de leefwereld. Het natuurkundeonderwijs wil daarin immers vaak toepasbaar zijn, maar is dat wel een reële optie? Zou het inderdaad zo zijn dat fysici, dankzij hun specifieke kennis, zich op een of andere manier ‘beter’ of ‘functioneler’ gedragen in hun dagelijks leven? Dat lijkt me, op zijn minst, zeer twijfelachtig. Mijn eigen ervaring is dat ik mijn fysieke kennis dan eigenlijk nooit gebruik. Mijn vrouw wist niets van natuurkunde, en alleen al daarom kan die kennis in onze dagelijkse communicatie, en in haar leven, dus geen rol gespeeld hebben. Zij heeft het in ieder geval nooit gemist. Het enige verschil dat ik ooit heb ervaren is in het geval van technische problemen. Dan bewijst zich een zekere ervaring met apparatuur en onderzoek in een (aanvankelijk) minder hulpeloze houding. Ook al garandeert dat geen succes. Zoals ik al bij de bespreking van de onderwijsvisies in hoofdstuk 2 heb laten doorschemeren, ben ik dan ook van mening dat we het potentiële nut van natuurkundeonderwijs, wat dit betreft, vaak geweldig overschatten.

8.4.2 Verdere analyse van common-sense

8.4.2.1 P-prims

“Why should common-sense be so difficult to describe? We are all supposed to have it in abundance, and to use it with unconscious ease. Yet it is very difficult to characterize any general principles for it, or to isolate any fundamental grounds it may have, indeed do more than give examples of it.” Aldus Ogborn²¹⁴ in een belangrijke studie die helemaal aan dit probleem gewijd is.

Van deze voorbeelden hebben we er al een aantal gezien. Zo hebben we kennis gemaakt met de ‘Experiential Gestalt of Causation’, waarvan de pretentie was een alge-

²¹⁴ J. Ogborn (1994). *Science and Common Sense. The Nature of Scientific and Commonsense Knowledge: Consequences for the Teaching of Science*. London: Institute of Education.

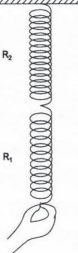
A.A. diSessa (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 102, 105-225.

M. McCloskey (1983). Intuitive physics. *Scientific American*, April, 122-130.

T.A. Grotzer (2003). Learning to understand the forms of causality implicit in scientifically accepted explanations. *Studies in Science Education*, 39, 1-74.

L. Viennot (1996). *Raisonnement en Physique, la Part du Sens Commun*. Paris: De Boeck.

mener patroon te beschrijven in causale redeneringen in onze common-sense. Er zijn meerdere van dit soort patronen voorgesteld, zoals ‘local reasoning’ (een oorzaak heeft alleen lokaal effect), ‘sequential reasoning’ (het effect van een oorzaak verplaatst zich achtereenvolgens naar verschillende objecten), ‘linear causal reasoning’ (als meerdere variabelen tegelijk veranderen, wordt dit gezien als een keten van achtereenvolgende oorzaken en gevolgen (en toen... en toen...); zie figuur 80), maar al deze patronen zijn niet zonder kritiek gebleven. De onderliggende drijfveer was echter steeds om het common-sense denken, blijkend uit de uitspraken van leerlingen over vele verschillende zaken, op een dieper niveau terug te brengen tot een ‘harde’ kern. Hierover is veel geschreven zonder dat dit geresulteerd heeft in een duidelijke consensus. Ik zal me daarom beperken tot enkele belangrijke, maar heel verschillende, bijdragen. Viennot beschrijft dat zaken als ‘linear causal reasoning’ ook nog steeds een rol spelen in het redeneren van fysici, zonder dat zij dat overigens verder probeert te verklaren.

<p>In quasi-static physics</p> <ul style="list-style-type: none"> • several variables • simultaneously changing • constrained by permanent relationships 	<p>Example</p> 	<p>Linear causal stories</p> <ul style="list-style-type: none"> • simple phenomena (one variable each) • seen as successive (hence as) • temporary
<p>$F_{\text{ext}}(t) = T_1 \text{ (same } t) = T_2 \text{ (same } t)$ $\Delta l_T(t) = \Delta l_1 \text{ (same } t) + \Delta l_2 \text{ (same } t)$</p> <p>$F_{\text{ext}}$: Force exerted by an experimenter on the lower end; T_1, T_2: tensions of each spring; $\Delta l_1, \Delta l_2$: extensions of each spring; Δl_T: total extension.</p>	<p><i>A symptomatic comment:</i> “The first spring will extend. Then, after a while, the second will also extend.”</p>	

Figuur 80. ‘Linear causal reasoning’²¹⁴.

In dat opzicht gaat de heel andere benadering van diSessa²¹⁴ duidelijk een stap verder. Zo schrijft hij, bijvoorbeeld, als volgt: “*In dealing with the physical world, humans gradually acquire an elaborate sense of mechanism – a sense of how things work, what sorts of events are necessary, likely, possible, or impossible. (...) An alternate, simple description of the sense of mechanism would be causality. Which events follow which others regularly, and why do they do so? (...) Is there a common notion of causality, even if it is not entirely localized or theory-like, or is this a profoundly distributed system? How does sense of mechanism develop, and, more important, because the motivation for this work is educational, how could it be made to develop?*”

Dit zijn de basisvragen waarom het gaat en zijn antwoorden daarop zijn, zoals hij zelf schrijft, “*dramatically different from many other characterizations.*” DiSessa beschrijft een aantal bekende voorbeelden van wat hij ‘intuitive physics’ noemt, zoals we die eerder gezien hebben, om vervolgens eerst te beschrijven waar hij het niet mee eens is: “*One of the best known interpretations is that intuitive physics represents a coherent, even theoretical, view of the world. Michael McCloskey²¹⁴ is a notable proponent of this view. His ideas make an excellent point of reference, to which I refer several times. The educational implications of the view of intuitive physics as theoretical include that misconceptions can and should be confronted, overcome, and replaced*

by valid principles. For this conclusion to be viable, misconceptions need to be relatively isolable and few in number; they need to be false or at least unproductive so that replacement is in order, and they need to be amenable to ‘attack’ with data and argument. This monograph questions all these assumptions. Instead, I approach intuitive physics as an expression of an underlying sense of mechanism that occasionally exhibits relatively uniform results but on the whole lacks important systematicities of theoretical science. As such, it does not need to be replaced so much as developed and refined.” Hieruit blijkt niet alleen wat hij bedoelt met ‘radically different’, maar ook dat we in onze boven beschreven opvatting over het productief gebruik van leefwerelddenken niet alleen staan. Ook al is diSessa’s verdere invulling toch weer heel anders. Op grond van de analyse van vele interviews formuleert hij het bestaan van een relatief groot aantal onafhankelijke hypothetische kennisstructuren, die hij ‘phenomenological primitives’ noemt (p-prims). In plaats van de volgende omschrijving spreken de voorbeelden uit figuur 81 misschien nog het duidelijkst. “*P-prims often originate as minimal abstractions of common phenomena, that act largely by being recognized in a physical system or in the system’s behavior. (...) In some particularly important cases, p-prims are themselves behavioral, or necessarily entail behavior, which allows them to serve important roles in explaining physical phenomena. P-prims of this sort may be self-explanatory – something happens ‘because that’s the way things are’. In these cases, p-prims become the equivalent of physical laws; they may explain other phenomena, but they are not themselves explained within the knowledge system. The name phenomenological primitives is meant to capture several of the most important characteristics of these objects. They are phenomenological in the sense that they often originate in nearly superficial interpretations of experienced reality. (...) P-prims are often self-explanatory, are evoked as a whole, are used as if they needed no justification, and act largely by being recognized.”*

In feite zijn we dus in onze casestudies op een aantal van deze p-prims gestuit, zonder ze toen uiteraard zo genoemd te hebben, maar wel vanuit een min of meer zelfde manier van denken. DiSessa heeft zijn zoektocht echter veel systematischer en uitgebreider gedaan en komt zo tot de formulering van veel van zulke intuïtieve kernen. Het interessante is nu dat hij veronderstelt dat het leren van natuurkunde niet neerkomt op het afleren of onderdrukken van dit soort p-prims – sterker, hij laat zien (net als Viennot hiervoor) dat sommigen ook in het redeneren van fysici nog steeds een rol spelen (bijvoorbeeld het feit dat we het allemaal zonder probleem vanzelfsprekend vinden dat een elektrische stroom het verloop van de stroomdraad volgt, correspondeert met de p-prim ‘guiding’) – maar uit het organiseren, uitbreiden en systematiseren van hun gebruik.

“The development from naïve to expert physical intuition is hypothesized to occur in the following ways. First, the rather large but relatively unstructured collection of p-prims present in naïve individuals gets tuned toward use in instructed physics. (...) During ‘tuning towards expertise’, the priority of some p-prims becomes greatly enhanced or reduced, and contexts of activation may migrate, expand or contract, depending on the elements’ new roles in the developing physics knowledge system.

Undoubtedly some entirely new p-prims are generated as the learner’s descriptive apparatus changes to focus on different features and configurations in the physical world. But a more drastic revision in the intuitive knowledge system is in the change in function of p-prims. They can no longer be self-explanatory but must defer to much more complex knowledge structures, such as physics laws, for justification.”

Phenomenological primitives for mechanical causality

1. Ohm's p-prim

An agent or causal impetus acts through a resistance or interference to produce a result. It cues and justifies a set of proportionalities, such as 'increased effort or intensity of impetus leads to more result'; 'increased resistance leads to less result'. These effects can compensate each other; for example, increased effort and increased resistance may leave the result unchanged.

2. Force as mover

A directed impetus acts in a burst on an object. Result is displacement and/or speed in the same direction.

3. Force as deflector

A shove may act in concert with prior motion (momentum) to produce a compromise result, directionally between the two.

4. Continuous force

As 'force as mover' but involving constant effort.

5. Force as a spinner

Off-center pushes create spinning.

6. Intrinsic or spontaneous resistance

Especially heavy or large things resist motion.

7. Interference

Influences that do not directly aid or conflict may still interfere.

8. Dying away

All motion, especially impulsively or violently caused, gradually dies away.

9. Working harder

More effort or cues to more effort may be interpreted as if in an effort to compensate for more resistance.

10. Change takes time

Changes take time to 'blossom'.

11. Vacuums impel

Emptiness requires filling.

12. Others

Bouncing, supporting, guiding, clamping, rigidity, springiness, equilibrium, generalized springiness, dynamic balance, overcoming, abstract balance, cancelling, equilibration recoil, released objects fall, wobbling, bigger means lower pitch, stiffer means faster.

Figuur 81. Een lijst van p-prim met hun omschrijving, met als toevoeging een aantal zonder omschrijving.

Het voert te ver om preciezer in te gaan op de manier waarop deze ontwikkeling van denken in termen van zwak gestructureerde p-prims tot sterk gestructureerd natuurkundig denken geacht wordt te kunnen verlopen, maar in ieder geval stelt deze voorstelling van zaken de gebruikelijke ‘misconcepties’ in een heel ander daglicht. DiSessa ziet ook duidelijke implicaties voor het onderwijs, die kort beschreven op het volgende neerkomen. ‘Cultivating the sense of mechanism’ zou, naast begripsontwikkeling en aandacht voor vaardigheden, een expliciet onderwijsdoel moeten worden, en wel om de volgende reden: “*Perhaps the most devastating implication of ignoring the sense of mechanism in instruction is that building an unwarranted wall between prior knowledge and scientific understanding may alienate students. I am convinced that one of the most problematic parts of current instruction is that students do not feel that they can really participate in physics instruction, that learning physics is a matter of accepting and memorizing counterintuitive, if not meaningless, formulations of experts. One of the most striking findings from the interviewing studies on which this work is based is that MIT undergraduates, when asked to comment about their high school physics, almost universally declared they could ‘solve all the problems’ (and essentially all had received A’s) but still felt they ‘really didn’t understand at all what was going on’. My interpretation is that their naïve sense of mechanism was not engaged and refined.*” Wel, dat laatste probleem is bekend, maar zijn interpretatie van de oorzaak is zowel uitdagend als origineel, en vraagt er om in de praktijk te worden uitgetest. Voor zover ik weet is dat niet of nauwelijks gedaan. Het wordt verder ook niet erg duidelijk hoe dat dan zou moeten, behalve dat er een belangrijke rol is weggelegd voor ‘thinking about everyday phenomena’. Helaas werkt hij dit niet verder uit, zodat de vraag overblijft of hij de problemen daarvan niet ernstig onderschat. Een belangrijk nadeel van deze benadering vind ik zijn complexiteit. Er zijn zeer veel p-prims, nog veel meer dan hier weergegeven, en ondanks hun vanzelfsprekendheid is het toch heel moeilijk ze te ontdekken, laat staan hoe er op de bedoelde wijze mee om te gaan. Hoe krijgt een docent dat voor elkaar? De vraag is dan ook gerechtvaardigd of er niet op een dieper niveau een in zeker opzicht eenvoudiger karakterisering mogelijk is. Hierover zegt diSessa: “*If there is a core to intuitive physics, it may lie in a broad or universal abstraction common to diverse phenomenology.*” Hiermee duidt hij op een abstractie in termen van algemene kenmerken van causaliteit en causaal denken, alhoewel hem dat in dit verband niet zinvol leek. Maar dat is wel precies wat, onafhankelijk van elkaar, gedaan is door Ogborn²¹⁴ en Klaassen²¹⁵. Twee fundamentele benaderingen waaraan ik, alleen al daarom, nu aandacht wil besteden.

8.4.2.2 Verklaringsschema’s

‘Als er iets verandert, heeft dat een oorzaak’. Iedereen vindt dat vanzelfsprekend. Common-sense dus. Maar wat is eigenlijk een verandering, wat kan gelden als oorzaak, en hoe ziet een geldige verklaring er dan uit? Het zijn dit soort vragen die nu aan de

²¹⁴ C.W.J.M. Klaassen (2003). Science education and constitutive elements of our modes of understanding. (niet gepubliceerd). Een verkorte versie van dit artikel is verschenen als: K. Klaassen (2005a). The concept of force as a constitutive element of understanding the world. In: K. Boersma et al. (Eds.), *Research and the Quality of Science Education* (pp. 447-457). Dordrecht: Springer.

²¹⁵ C.W.J.M. Klaassen (2005b). Ontwerp van een dragende en sturende didactische structuur voor aanvaankelijk mechanica-onderwijs. (niet gepubliceerd).

orde komen, niet als doel op zich, maar steeds vanuit de optiek om beter zicht te krijgen op het leefwerelddenken van leerlingen en van ons allemaal, als uitgangspunt voor het leren van natuurkunde. “*De physicus verlangt geen oorzaak zoolang het ding of het proces dat hij onderzoekt aan zichzelf gelijk blijft. Eerst wanneer die gelijkheid wordt verstoord, wanneer de eenparige voortzetting van een toestand of van een proces wordt verbroken, wordt een oorzaak gepostuleerd. Volkomen hetzelfde blijkt nu ook in andere gevallen te gelden, in 't dagelijksch leven zoowel als in de wetenschap. Wanneer een gezond mensch voortdurend gezond blijft, wordt er niet naar de oorzaak van die gezondheid gevraagd; maar wanneer een gezond mensch ziek wordt, of wanneer iemand die zijn geheele leven gesukkeld heeft herstelt, vraagt men waaraan dat liggen kan, wat daarvan de oorzaak kan zijn.*”²¹⁶ Hierin komt al het idee naar voren dat er een gemeenschappelijk patroon ten grondslag lijkt te liggen aan wetenschappelijke en alledaagse verklaringen. En dat is precies wat nu verder zal worden uitgewerkt. Over causaliteit is door filosofen een bibliotheek volgeschreven, maar ik zal me beperken tot het weergeven van het betoog van Klaassen, die zich op zijn beurt weer grotendeels baseert op de filosoof Davidson²¹³, die we hiervoor ook al zijn tegengekomen, en anderen als Ramberg²¹².

“As basic concepts in this mode of understanding (of the world as physical) one can think of those of object, state, change and cause. The idea is to investigate whether there are also constitutive elements among the concepts of this, what may be called, ‘general physical vocabulary’ (not to be confused with the vocabulary of physics), and what explanatory interest of ours is associated with it. (...) That is, if there are constitutive elements of the general physical vocabulary, then what we count as an object, as a state of an object, as a change of an object – all these identifications could then be seen as both implementing and depending on the constitutive elements. (...) Furthermore, if there are such constitutive elements, they ought to be seen at work both in commonsense theories of the world and in science. This would then also make possible a further investigation of the relations between commonsense theories of the world and the various sciences, and perhaps even suggest some guidelines for how to bridge the gap between commonsense and the various sciences. (...)

I think that there are constitutive elements of the general physical vocabulary, and that they all centre about the idea of generality. (...) An example of such a constitutive relation is the so-called cause-law thesis. In Davidson’s formulation it reads as follows. It is constitutive of the concept of causality that if two particular events are related as cause and effect (a caused b), that then there is a law (a lawlike generalization) to the effect that ‘all events similar to a will be followed by events similar to b’. That is, we have reason to believe the singular causal statement only insofar we have reason to believe there is such a law (and we may have good reason to believe there is such a law without knowing what the law is). Similarly it is constitutive of the concept of change, that like changes will happen under like circumstances; and constitutive of the concept of object, that like objects undergo like changes under like circumstances. (...) When we employ the general physical vocabulary, our commitment (...) answers to our built in interest in construing our environment in terms of generality. (...) I think it is good to emphasize that the cause-law thesis and its variants do not tell us what we ought to count as objects, changes, laws and so on. They only set constraints on what we are going to count as objects, changes, laws and so on. They offer a scheme, or proforma, so to say, into which what are to count as objects, changes, laws, and so on, must fit. (...) ...events are changes that explain and require such explanations. This is not an empirical fact: nature doesn’t care what we call a change, so we decide what counts as a change on the basis of what we want to explain, and what we think avail-

²¹⁶ G. Heymans (1890). Geciteerd uit Klaassen (2005b).

able as an explanation. In deciding what counts as a change we also decide what generalizations to count as lawlike. (...) If you can't explain it using one assumption of what counts as a change, adopt new categories that allow a redefinition of change. The history of physics is replete with examples of such adjustments in the choice of properties, thus altering what calls for a causal explanation. (...) One way science advances is by recognizing change where none was seen before. It can also work the other way around. Galileo sparked a revolutionary improvement in physics when he proposed that uniform rectilinear motion is not to be treated as a change requiring an explanation, but as a steady state. The result was to give up the search for a cause of such motion and to treat only deviations from such motion as changes. (...) ...unchanges took over an even larger territory with the idea of not treating gravity as a force, so that the motion of a body along geodesics as defined by a special framework determined by the distributions of masses in space became a state not requiring a cause.”²¹²

Dat was even een pittig stukje, waarvan we ons kunnen afvragen wat hier nu precies gezegd wordt. Het laatste deel maakt al wat duidelijker waar het om gaat. De voorbeelden van Galileo en Einstein's relativiteitstheorie geven aan dat wat je een verandering en wat je een toestand noemt, kennelijk niet vast ligt, maar afhankelijk is van wat je wil verklaren en welke achterliggende wetmatigheid je accepteert, tezamen met wat je dan oorzaak noemt. Zou niet ook iets dergelijks mogelijk zijn bij het karakteriseren van de verschillen tussen common-sense en natuurkunde, waarnaar we op zoek zijn? Om te beginnen ten aanzien van wat we eerder 'mechanical causality' hebben genoemd? Dat is precies de gedachtegang van Klaassen geweest, die ik zal toelichten aan de hand van een 'simpel' voorbeeld. Beschouw bijvoorbeeld de vraag waarom je om een fiets in constante beweging te houden, moet blijven trappen.

Een common-sense antwoord zou ruwweg als volgt kunnen gaan: 'Je moet blijven trappen omdat er steeds een 'kracht' nodig is om vooruit te komen, want anders kom je vanzelf tot stilstand. En op de vervolgvraag waarom bewegende dingen, waarop geen 'kracht werkt', vanzelf tot stilstand komen, is het antwoord: dat is gewoon zo!' Een verklaring volgens de Newtoniaanse mechanica zou als volgt kunnen gaan: 'Je moet ervoor zorgen (door te trappen) dat er een voorwaartse kracht is, die de tegenwerkende kracht (de wrijving) compenseert, want alleen een voorwerp waarop geen netto kracht werkt is in constante beweging. Op de vervolgvraag waarom alleen dingen waar geen netto kracht op werkt in constante beweging zijn, komt in essentie niet anders dan het antwoord: dat is nu eenmaal zo.'

Uit dit voorbeeld blijkt enerzijds dat common-sense en fysische bewegingsverklaringen verschillend zijn, met name ten aanzien van de uitdrukking 'een kracht uitoefenen', maar anderzijds ook dat ze een gemeenschappelijke onderliggende structuur hebben. Klaassen omschrijft dit als dat er eenzelfde strategie aan ten grondslag ligt:

- een karakterisering van invloedsloze bewegingen, *gekoppeld aan*
- een formulering van plausibele wetmatigheden (krachtwetten), die daarvan afwijkende bewegingen relateren aan eigenschappen van de omstandigheden waaronder die afwijkingen zich voordoen (interactietheorie, of beïnvloedingstheorie).

Common-sense en Newtoniaans zijn dan twee verschillende correcte invullingen van hetzelfde onderliggende schema (figuur 82). Als rationele analyse is dit prachtig, maar ik vermoed dat het psychologisch moeilijker ligt.

	Common-sense	Newtoniaans
Toestand die geen verklaring behoeft	Rust, tot stilstand komen	Eenparige beweging, rust
Toestandsverandering die wel verklaring behoeft	Versnellen, eenparige beweging	Versnellen, vertragen
Oorzaak	Een 'kracht' op fiets	Geen netto-kracht op fiets
Wetmatigheid	Voor beweging is een 'kracht' nodig	Voor verandering van snelheid is een kracht nodig
Common ground	Je moet blijven trappen om met constante snelheid te blijven rijden.	

Figuur 82. Verklaringen van fietsen met constante snelheid.

Ik denk dat veel leerlingen zich, in het gegeven voorbeeld, toch al snel bewust zullen zijn van de tegenwerkende invloed van luchtweerstand en wrijving, die 'overwonnen moet worden'. Dat betekent dat er dan geen invloedsloze beweging meer is. Al blijft het vanzelfsprekend dat je onder invloed van de tegenwerking vanzelf tot stilstand komt. Vandaar dat mijn voorkeur uitgaat naar een omschrijving als van Ogborn, die inhoudt dat 'de behoefte aan verklaring stopt bij het vanzelfsprekende'. Nog erger wordt het als ik, om het voorbeeld wat verder uit te werken, me tegen een harde wind in vooruit moet vechten. Dan is het idee dat ik sterker moet zijn, moet winnen, niet te onderdrukken en wordt het bijna absurd om een eenparige beweging te omschrijven als 'invloedsloze beweging'. Terwijl datzelfde geldt voor als ik, vanwege de storm, slechts met moeite stil kan blijven staan. Ook wordt het dan moeilijk om te accepteren dat, terwijl mijn wens om me te verplaatsen, als doelloorzaak, toch de oorzaak is van alles, ik me in mijn verklaring van mijn eenparige beweging tegen de storm in (stel dat me dat zou lukken) moet beperken tot de 'werkingsoorzaak'. Dit geeft niet alleen aan dat common-sense redeneringen toch een sterke situatiegebondenheid hebben, maar ook dat de fysische beschrijving van leefwereldsituaties gemakkelijk op psychologische problemen kunnen stuiten. DiSessa benadrukte deze situatiegebondenheid met zijn vele verschillende p-prims. In de meest simpele gegeven voorbeeldsituatie zien we er al verscheidene aan het werk, zoals: 'force as mover', 'continuous force' en 'dying away'. En als we ook wrijving in aanmerking nemen, dan komen daar nog p-prims als 'Ohm's law', 'overcoming', 'working harder' bij. Ook ligt 'linear causal reasoning' voor de hand. Immers: 'door te trappen kom ik in beweging, daardoor ontstaat er wrijving, waardoor ik nog harder moet trappen'. En zijn waarschuwing voor het vervreemdende effect dat 'forcerend' natuurkundeonderwijs kan hebben lijkt dan ook alleszins terecht.

Nu hebben we eerder gezien dat in de leefwereld energie en kracht elkaar overlappende begrippen lijken te zijn. Dat roept de vraag op in hoeverre we dit verklaringssche-

ma ook voor het redeneren over energie kunnen gebruiken. Bijvoorbeeld als volgt: een object wil uit zichzelf in een natuurlijke toestand zijn en blijven. Uit die toestand brengen en houden, dat wil zeggen iets doen, vraagt handelen/actie als oorzaak en kost energie. Naar de natuurlijke toestand terugkeren gaat vanzelf, zonder dat er energie aan te pas komt. De natuurlijke toestand van een mens is rust/rustig zijn. Energiek/actief worden/zijn kost energie, weer tot rust komen gaat vanzelf. Een object in beweging brengen/houden kost energie, het weer tot rust laten komen gaat vanzelf. Een object is ‘van nature’ op omgevingstemperatuur. Die toestand veranderen (afkoe-len, opwarmen) en in stand houden kost energie. Terugkeer naar omgevingstemperatuur gaat vanzelf.

Dit betekent dat we dus inderdaad eenzelfde verklaringsspatroon zien ten aanzien van energie in de leefwereld, hetgeen, gezien zijn dynamisch/oorzakelijke karakter, niet verwonderlijk is. Maar ten aanzien van het fysische energiebegrip ligt dit anders. Daarvan hebben we immers gezien dat het een balansgrootte is voor de ‘boekhouding’ van de toestand van een afgesloten systeem. Een behouden toestandsgrootte, waarbij de dynamiek tussen deelsystemen wordt beschreven als energieoverdracht ten gevolge van arbeid en/of warmteprocessen. Dit laat zich niet meer vangen in een eenvoudige andere invulling van bovenstaand verklaringsspatroon. Alhoewel een soort quasi-fysische tussenweg kan worden gevonden als we aan het leefwereldpatroon toevoegen, zoals in veel onderwijs impliciet gebeurt, dat de energie die het kost om een object uit zijn natuurlijke toestand te brengen en te houden gedeeltelijk tijdens en gedeeltelijk bij terugkeer ‘verloren gaat in de omgeving’. Onnodig te zeggen dat ook in dit type redenering weer een aantal p-prims te onderkennen is.

Hoe dat ook precies zij, terugkerend naar bewegingsverklaring concludeert Westra²¹⁷: *“So underlying all these p-prims, the same explanatory scheme can be found, which is therefore flexible enough to accommodate them. The explanatory scheme can be seen as a mould in which quite different content can be put and which results in explanations that are different in detail, but the same in structure. The point that I am trying to make here is that the explanatory scheme underlies each explanation of motion as well as diSessa’s p-prims and is therefore another, more fundamental, description of what takes place in explaining motions.”*

Dit moge in principe juist zijn, maar door het fundamentele en algemenere karakter blijft het verklaringsschema als strategie wel verder verwijderd van de variatie aan psychologische vanzelfsprekendheden die, qua bedoeling, juist in de p-prims worden gevangen. *“Dat deze strategie ten grondslag ligt aan alledaagse bewegingsverklaring,”* aldus Klaassen, *“kan toegelicht worden aan het alledaagse doel voorwerpen te verplaatsen of onszelf al of niet middels voorwerpen te verplaatsen. Als ‘invloedsloos’ kunnen we dan de soort bewegingen beschouwen die de relevante voorwerpen ook zonder ons ingrijpen al zouden uitvoeren (stilstaan of langzaam tot stilstand komen). En als ‘interactietheorie’ de ruwe wetmatigheden waarin bepaalde afwijkingen van die invloedsloze beweging gecorreleerd zijn aan soorten handelingen die wij kunnen verrichten, bijv. door te blijven trappen zorg je ervoor dat je niet tot stilstand komt; door te remmen zorg je ervoor dat je sneller tot stilstand komt. In termen van deze twee elementen kunnen de bewegingen van de voorwerpen die we willen verplaatsen, of waarmee we ons willen verplaatsen, op een voor alledaagse doeleinden bevredigende manier verklaard en voorspeld worden. Gegeven een ander doel, bijv. het*

²¹⁷ A. Westra (2006). *A New Approach to Teaching and Learning Mechanics*. Utrecht: CD-β Press.

raken van iets met een projectiel, kan overigens een weer andere soort beweging beschouwd worden als invloedeloos, zolang dit maar gepaard gaat met de beschikbaarheid van voldoende ruwe wetmatigeden om afwijkingen daarvan te verklaren. Dit alles geeft alledaagse bewegingsverklaringen een weinig systematisch en enigszins hap-snap karakter, met een sterke gerichtheid op alledaagse doelen en handlingsmogelijkheden.

Anders is het gesteld bij natuurwetenschappelijke bewegingsverklaringen. Deze zijn op zich onafhankelijk van doelen en belangen. Iedere afwijking van wat als invloedeloze beweging wordt beschouwd van welk voorwerp dan ook, ongeacht of er sprake is van praktische relevantie, moet dan teruggevoerd kunnen worden op de invloed van andere voorwerpen middels geschikte, uiteindelijk uitzonderingsloze, krachtwetten. Zulke verklaringen worden nagestreefd in wat je een 'theoretische gemoedstoestand' zou kunnen noemen."

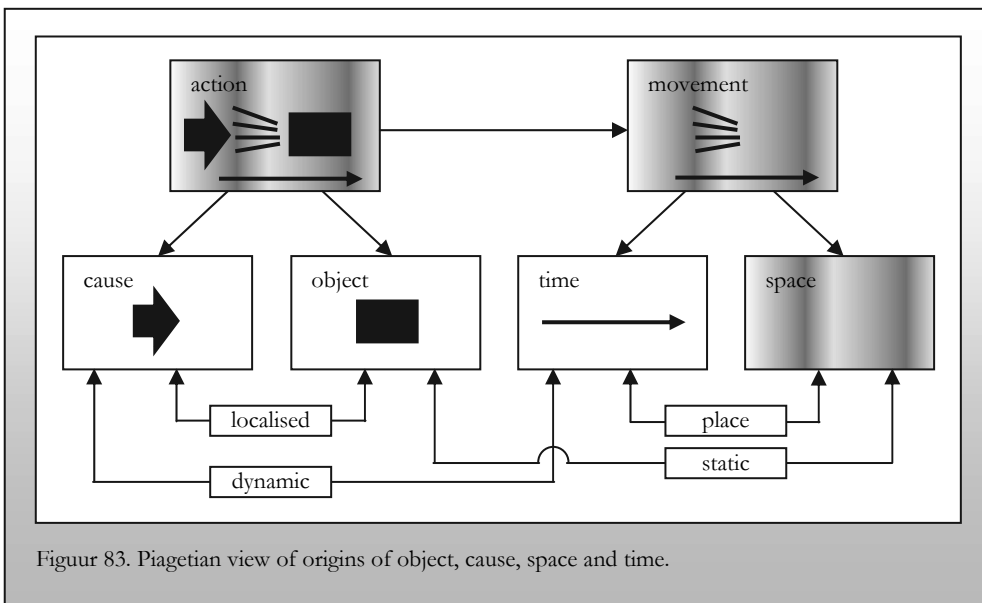
Naar mijn idee vraagt het leren van natuurkundige bewegingsverklaring dus wel degelijk om een psychologische blikwisseling. Zowel inhoudelijk als in wijze van 'zur Welt sein'. Je moet dezelfde (leefwereld)situaties op een andere manier leren beschrijven, terwijl het doel daarvan je veelal nog niet duidelijk kan zijn. Niet omdat de common-sense manier fout zou zijn, of onbruikbaar, integendeel, ze is juist zeer bruikbaar, maar het is nog geen natuurkundige beschrijving. Daar komt bij dat het gebruik van hetzelfde woord 'kracht' in verschillende betekenissen verwarrend, of zelfs vervreemdend kan werken. Het is dan ook terecht dat Klaassen en Westra in hun pogingen het verklaringsschema didactisch productief te maken, dit, zoals we nog zullen zien, juist *niet* doen aan de hand van leefwereldsituaties, maar hun toevlucht nemen tot de 'hemelmechanica'. Tenslotte was dat ook het onderwerp van Newton's eigen gedachtenontwikkeling. Op een meer gedetailleerde beschrijving van deze aanpak kom ik later terug.

8.4.2.3 Over 'actions' en 'explanations'

Ten slotte wil ik, zoals aangekondigd, nog aandacht besteden aan het werk van Ogborn²¹⁴. Om al te veel overlap met het voorgaande te voorkomen, zal ik me hoofdzakelijk beperken tot twee zaken, namelijk de rol van 'action' en van 'explanation'. Maar eerst, opnieuw, een korte algemenere karakterisering van common-sense volgens Ogborn. "*At bottom, there are fundamental entities and events, such as object, action, cause, space and time, which are not so much thought about but are what we use to think with. They are given, taken for granted, as they must be if we are to use them as tools for thought.*" Dit wijst op eenzelfde uitgangspunt als we hiervoor hebben gezien bij Klaassen, maar een verschil komt naar voren in de benadrukking van de rol van 'handelen', die Ogborn relateert aan Piaget. Je zou kunnen zeggen dat Ogborn daarmee focuseert op slechts twee hoeken van Davidson's eerder beschreven driehoek, ook al besteedt hij later wel degelijk ook aandacht aan de rol van taal en menselijke interactie. "*Commonsense thought is inherently related to action, whether human action on the world or the action of other things in the world. The meaning (significance) of things in the world rests on action, on what they can do, what can be done to them, and what they are made of. For this reason, commonsense thinking is often causal in character. Commonsense reasoning belongs in its local context; it is reasoning directed to being effective here and now. It seeks to be good enough for the occasion, especially when directed to finding an ap-*

appropriate action for the moment. (...) The fundamental basis of commonsense reasoning is not however dependent on context. The same concrete modes of thought, flexibly adapted to different cases, recur again and again: change thought of as movement, cause thought of as action, constancy thought of as the permanence of an object or as inaccessibility to action, possibility thought of as space in which to move, and so on.

[Figuur 83] *shows schematically how Piaget saw this development. Actions and movement are taken as given. The idea of object arises from actions, objects being things which can be moved and which otherwise stay the same. Cause arises later with causes seen as possible actions, ultimately able to be projected onto things other than the self. Topological space and time (inside, outside, in front of, behind, before, after, now) derive from actions on objects, being the invariant aspects of situations in which change occur. That is, the development arises from the child's attention to that which changes and that which stays the same – the dynamic and static aspects of the world. Objects and space are static, unchanging, conserved. Actions, movements, causes and time are dynamic, changing, sources of change. A subtler distinction is also present: that between aspects which are located, in some place, and those which are the frame or place (including time as temporal place) within which localised entities are to be located. Thus time and space are the 'place-like' aspects of the way the world is seen, whilst objects and actions are both localized.'*

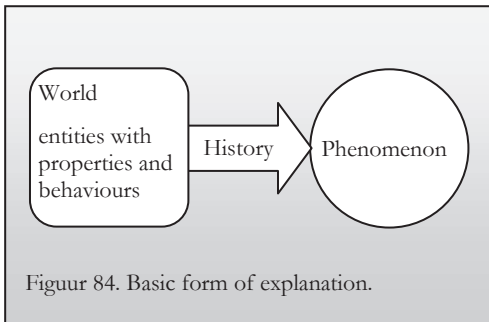


Figuur 83. Piagetian view of origins of object, cause, space and time.

Ogborn heeft het schema uit figuur 83 als uitgangspunt genomen in een poging deze fundamentele elementen terug te vinden in het common-sense denken van kinderen over zaken als kracht, energie, behoud, reversibiliteit, etc. Hoe interessant deze poging ook was, naar mijn idee volgen er geen direct didactisch bruikbare conclusies uit, en ik zal er dan ook niet verder op in gaan.

Dat geldt niet voor zijn verklaringsmodel, wat in zekere zin gebaseerd is op dezelfde fundamentele manier van denken. *“I shall limit the discussion to explanation as accounting for material phenomena. The model will regard the content of an explanation as a set of behaviours of*

some entities, often in a sequence, which shows how the phenomenon to be explained follows from the nature and possible behaviours of a given set of entities. That is, the explanatory content is: A set of events in a possible world which lead to what is to be explained, in which that set of events is a possible natural consequence of the nature of the entities in that possible world. This gives the following picture. [Figuur 84] According to the model, an explanation is a History in a World. A World consists of some entities. The entities must be provided with characteristics: what they can do, what can be done to them, and their basic nature (e.g. tangible/intangible). In science the World is a part of the ‘ontological $\xi\omega\omega$ ’²¹⁸. The proposed History is one in which entities acted out their natural behaviours or were acted on in accordance with their basic nature, and in which the phenomenon to be explained could have been generated. The History claims to say how entities which could have produced the effect to be explained actually did so. [Figuur 85]



*Explanation = history in a world
 World = collection or organization of entities
 Entity = object + characteristics
 Characteristics = what the entity can do
 + what can be done to it
 + what it is made of
 History = selected actions of or on entities*

Figuur 85. Basic elements of an explanation.

We need both a World and a History because in general a proposed World will have many other possibilities besides accounting for the thing to be explained. The proposed World is like the chess pieces, board and rules; the History might explain how a particular stalemate came about. Similarly, gravity and the properties Newton gave it make it a possible world, one history of which can account for the tides and another for the precession of the equinoxes. (...) Both science and commonsense rely on fundamentally concrete modes of thought. Reasoning is done with imagined entities and events. That the imagined entities of science are different from those of commonsense is now not the point; the point is that they are used in thinking in fundamentally the same kind of way. Explanations, both in science and in commonsense accounts of physical reality, are stories about what entities in a world have done in order to bring about what is to be explained. Both science and commonsense stop explaining at the level of what is (for the time being) made to seem obvious. Explaining stops when we understand events as working out according to the currently imagined and understood nature of how things are.”²¹⁹

²¹⁸ Work in any area of science is work with a ‘zoo’ of beasts, strange to the onlooker but familiar to the keepers, who know them as friends.

²¹⁹ J. Ogborn, G. Kress, I. Martins & K. McGillicuddy (1996). *Explaining Science in the Classroom*. OUP. In dit boek wordt nader ingegaan op de aard van ‘explaining’ in de klas, naast bovenstaande analyse van de aard van een ‘explanation’ op zich. In deze analyse van het geven van een verklaring wordt uitgegaan van het volgende ‘theoretical framework’:

- *Scientific explanations as analogous to ‘stories’.*
- *An account of meaning-making in explanations, itself with four main parts: creating differences, constructing entities, transforming knowledge, putting meaning into matter.*

Dit is een interessante beschrijving. Natuurkundige en common-sense verklaringen als gelijkaardige, maar uiteraard inhoudelijk verschillende, geschiedenissen. Verklaren als vertellen van ‘verhalen’. Dat is een heel andere manier dan de positivistische ‘covering-law’ opvatting van natuurkundige verklaring, alhoewel die natuurlijk wel degelijk een rol speelt in deze verhalen. Al naar gelang hun diepgang kunnen in deze verhalen ook de p-prims van diSessa, of de verklaringsschema’s van Klaassen een rol spelen. In feite zien we Ogborn’s visie op verklaringen trouwens didactisch geoperationaliseerd in de eerder genoemde methode ‘Advancing Physics’.

8.4.3 Over natuurkunde en het verschil

“*The whole of science is nothing more than a refinement of everyday thinking*,” aldus Einstein als onverdachte bron²²⁰. Vandaar dat we hierboven zoveel moeite hebben gedaan om dit soort denken te karakteriseren. In deze beschouwingen over leefwereld en common-sense is steeds gerefereerd aan overeenkomsten en verschillen met natuurkunde als wetenschap, maar dit laatste is nog geen expliciet onderwerp van aandacht geweest. En dus ook niet in welke zin we deze ‘refinement’ op moeten vatten. Daarom wil ik me daar nu op richten, opnieuw met de restrictie dat ook dit niet veel meer dan een aanstippen kan zijn van alles wat daarover gefilosofeerd is. Wat kenmerkt natuurkunde eigenlijk? “*Fragt man irgendeinen, nicht gerade einen Physiker, was Physik sei, und zwar nicht, wie er sie definiert, sondern – an seinen Unbewusstes appellierend – wie ihm dabei zumute ist, was ihm als ihr Inbegriff vor Augen steht, so zeigt sich, dass merkwürdig viele dabei nicht an “Natur” denken. Physik gehört anderswo hin. Das ist seltsam. Woran denken sie denn?*” Aldus Wagenschein¹⁸⁸. Hij beschrijft dan hoe mensen aan drie zaken lijken te denken bij de term natuurkunde, in de eerste plaats aan techniek in algemene zin, maar direct daarna ook aan specifieke apparaten in het bijzonder, en ten slotte, als derde, aan formules. Toegegeven, alle drie ‘hebben wel iets met’ natuurkunde, kennelijk zijn ze belangrijk voor het image van dat vak, maar je kunt toch moeilijk volhouden dat ze een adequate omschrijving geven van wat natuurkunde is en van waar het zich mee bezig houdt. “*Wer die Physik kennt, besonders wer ihren Weg durch die Jahrhunderte ein wenig nachgegangen ist, wer eingekehrt ist in die grosse Zeit ihres Aufganges um 1600, der weiss, dass ihr grossere Gegenstand immer nur die Natur war und dass sie es bis heute geblieben ist, mogen auch der ungeheure apparative Aufwand, das Eindringen der Technik in die Forschung selber und die immer exklusivere mathematische Ausrüstung den Blick davon ablenken. (...) Wir meinen doch wohl mit “Natur”: die uns allen im Wachen gemeinsame, in den Raum sich findende und in der Zeit dauernde Wirklichkeit, insofern sie nicht von uns gemacht, sondern von selber da ist. (...)*

Es ist also nicht richtig zu sagen (was schon den Kindern nicht recht gefällt, wenn sie es auf Seite 1 ihres Physikbuches lesen), Gegenstand der Physik sei der “unbelebte” oder gar “tote” Natur. Richtig ist, dass die Methoden, mit denen der Mensch als Physiker die Natur umstellt und siebt, auf alles in Raum und Zeit Existierende, sogar auf seinen eigenen “Körper” anwendbar sind. Die Physik holt die allgemeinen, die umfassenden Gesetzmässigkeiten heraus, soweit sie messbar sind, das Zahlen-

• *Variation and styles of explanation.*

Hierin wordt met behulp van veel voorbeelden uit de lespraktijk beargumenteerd en gedemonstreerd hoe het geven van verklaringen het best kan worden vormgegeven.

²²⁰ A. Einstein (1954). *Ideas and Opinions*. New York: Crown.

Grundgesetzbuch der Natur. Aber warum gibt es dann eine Biologie für sich? Offenbar, weil einiges durch dieses Netz hindurchfällt. Die Schmetterlinge? Nein. Denn: wir konstatieren ja ihre Interferenzfarben und ihre Facettenaugen. Kein Organismus fällt durch das Netz der Physik. Nur: er ist damit nicht erschöpfend erfasst. Da ist noch etwas, physikalisch Unfassbares an ihm, was doch, nur in anderer "Hinsicht", da ist.

"Hinsicht", "Aspekt": dieses Wort ist willkommen. Ein besseres Bild als "Netz". Die Physik ist eine gewisse Hinsicht, und die Biologie ist eine andere. Eine Art der Zuwendung. Und eine aus ihr sich ergebende Verstehensweise. Es ist wie wenn man ein Relief, von verschiedenen Orten her, mit diesen oder jenen Scheinwerfer beleuchtet. Es ist jedesmal dasselbe und sieht doch ganz anders aus. Jedesmal treten andere typische Strukturen hervor, jedesmal fällt etwas anderes "aus", wird in den Schatten gestellt. Das Ausschalten eines solchen Scheinwerfers und das Einschalten eines anderen, das entspricht etwa der Umstellung von der physikalischen zur biologischen Betrachtungsweise. Der Wechsel liegt darin, dass wir dann auf einmal in anderen Begriffen denken. Die physikalischen Begriffe sind insofern die allgemeinsten, als sie auf alles passen, was in Raum und Zeit "vor sich geht". (...) Es bleibt der Physik von der Natur vielleicht so viel oder so wenig übrig, wie von einem Blütenbaum bleibt, wenn wir seinen Schatten auf der Mauer ansehen: keine Farbe, kein Rauschen des Windes, kein Duft, kein Bienensummen, nur den Schatten: und doch sagt er Richtiges: Geometrisches. Die Projektion ist genau, aber arm.

Unter den Entgleisten, die den Schatten für das Eigentliche halten, gibt es Eingenommene und Abgeschrenkte. Unter den abgeschrenkten Entgleisten sind zum Beispiel viele Mädchen, die Physik gar nicht "mögen". Manche "lernen" sie zwar trotzdem, aber als etwas Fremdes, Technisches, Apparatives oder Mathematisches; lernen sie, "machen" im "Abi" eine "2", und sind dann zu ihrer Erleichterung los. Sie lehnen die Physik ab, weil sich etwas in ihnen weigert, diesen Aspekt (deren Aspektcharakter ihnen aber nicht klar wird) als die Wirklichkeit anzunehmen. Sie haben recht.

Vielleicht sind sie immer noch besser daran als eine zweite Gruppe von Menschen, die von der Physik zwar eingenommen sind, nur aber allzusehr, Anhänger und dennoch Entgleiste: Sie haben den Gegeninstinkt der ersten Gruppe nicht mehr, sie werden von ihrer Physik benommen. Auch sie sehen den Aspektcharakter nicht und nehmen sie als bare Münze. Dass heisst, sie glauben die Physik zeige die Natur so, wie sie "eigentlich" sei, "von sich aus", "wirklich", "an und für sich", voraussetzungslos, objektiv, so wie sie ohne den Menschen wäre: die Wahrheit. Diese Gruppe ist sehr Gross. Ich habe den Eindruck, dass unser Schulunterricht und unsere Schulbücher diese Auffassung, mindestens zwischen den Zeilen, sehr häufig nahelegen. Jedenfalls ist sie unter Laien sehr verbreitet. – Diese Auffassung ist ein Symptom der Halbbildung, denn man darf sagen: Je tiefer einer in die Physik eindringt, desto grössere Aussicht hat er, sich von diesen Missverständnis zu befreien. (...)

Ist man aber einmal auf den Aspektcharakter der Physik aufmerksam geworden, so bemerkt man ihn allenthalben. Nimmt man irgendeine physikalische Feststellung, so bemerkt man, dass sie nur auf der Basis eines systematisch vorbedachten Planes, als nicht voraussetzungslos, angreift.

Ich nenne die Voraussetzungen noch einmal: Das "Experiment" muss ansetzbar sein. Es verlangt: ein "abgeschlossenes System", Wiederholbarkeit für jeden von uns, das heisst Elimination aller privaten, persönlichen Vorbedingungen. Es verlangt ferner, dass einzelne Faktoren abgetrennt werden, und nachher additiv wieder hineingebracht werden können: schliesslich, dass wir nur quantifizierbare Begriffe anwenden ("messbare Grössen") (...)

Auf diese Weise sortieren wir gewisse Phänomene heraus, wir schaffen sie geradezu, wir "dingen" sie, bekommen sie in die Hand, können sie nachmachen und voraussagen. Wir erzeugen so determinierbare Bereiche in der Natur. Der Forscher erkennt, dass er "einzelne Naturvorgänge aus dem Zu-

sammenhang herauslösen, mathematisch beschreiben und damit erklären kann". Und: "Es handelt sich nicht mehr um die Beobachtung der Natur schlechthin, sondern um eine Beobachtung, die von bestimmten Prinzipien ausgeht und sich in ihren Verlauf an ganz bestimmten Denkregeln orientiert". - Es wird also etwas verändert am Naturbild durch ein Methode, eine Abblendevorrichtung; es wird etwas herausgehoben, und es wird etwas ausgelöscht, eben das, was der Scheinwerfer in den Schatten stellt. Physik ist nicht nur eine Verstehensweise, sie ist eine Behandlungsweise. (...)

Aber wenden wir uns jetzt zurück zu der zweiten Menschengruppen, die von den physikalischen Ergebnissen so benommen ist, dass sie den Aspektcharakter vergisst und die Ergebnisse der Physik für die Natur selber halt. Was veranlasst sie dazu? Gute Gründe, die wir nicht gering schätzen dürfen: Sie sind, wir alle sind, wenn wir er nur recht gezeigt bekommen, bezaubert von der Mathematisierbarkeit der Natur. (...) Nimmt man noch hinzu, dass die physikalische Seite der Natur die ist, über welche wir uns in die Sprache der Logik verständigen und vor der sich jeder durch Experimente und Gespräch überzeugen kann, so verstehen wir wohl, dass es etwas Lockendes hat, diese Seite als die wesentliche Seite, ja als den Urgrund der Sache selbst zu verstehen. Aber – so fragt auch ein Physiker – "Was berechtigt mich, das allen Zugängliche für realer zu halten als das nur mir Zugängliche?" und erinnert an die magischen Wirkungen der Edelsteine auf den Menschen, dem sie etwas bedeuten. Und der Philosoph: "Es könnte doch sein, dass die Natur in der Seite, die sie der technischen Bewältigung durch den Menschen zukehrt, ihr Wesen gerade verbirgt."

Dit is een (te) lang citaat, maar Wagenschein weet het allemaal zo mooi te zeggen. Zo noemt hij een aantal relevante kenmerken, waarvan het goed is die ons te realiseren. Met name zijn beschrijving van het aspectkarakter is belangrijk. Niet alleen omdat we in de tijd leven waarin de natuurkunde op zoek is naar 'de theorie van alles', zodat we, als we die gevonden hebben, ook de 'Mind of God' zullen kennen, zoals Stephen Hawking het uitdrukte, ook al zal dit niet letterlijk bedoeld zijn. En al zal geen fysicus dit, denk ik, zo interpreteren als in 'de media' gebruikelijk is. Nee, de waarschuwing geldt, mijns inziens, vooral voor het aanvankelijke leren van natuurkunde, waarbij juist dit aspectkarakter vervreemdend kan werken. En niet alleen voor meisjes!

Laten we ter illustratie nog een keer teruggaan naar het 'kleine voorbeeld' van de constant rijdende fietser. De leefwerelduitspraak 'dat je steeds een 'kracht' moet uitoefenen om de weerstand te overwinnen', is niet zozeer een rationele verklaring, alswel de verwoording van de 'beleving' van een vanzelfsprekende, gedeelde en ondeelbare ervaring. Het is een 'overtuiging', met alle emotionele connotaties die daaraan verbonden zijn; *ik* moet iets *overwinnen*, terwijl juist die twee elementen fysisch gezien niet relevant zijn. Voor die persoonlijke ervaring is geen plaats in de natuurkunde. Volgens het verklaringsschema van Klaassen gaat het om een rationele analyse en ontleding van de situatie, om de delen vervolgens weer op een andere manier te verenigen. Het aspectkarakter ten voeten uit, precies volgens Wagenschein's karakterisering. Dat moet vervreemdend werken op diegenen die de kracht en het doel van deze benadering nog niet hebben kunnen leren kennen. Weliswaar is al gewezen op een daarvoor noodzakelijke 'theoretische gemoedstoestand', maar op grond waarvan roep je die dan op? Ofwel, hoe trek je, wat dat betreft, jezelf aan je haren uit het moeras? In de woorden van Einstein: "*Science as an existing, finished corpus of knowledge is the most objective, most unpersonal thing human beings know.*" De cultuurcriticus Roszak beschreef dit indertijd als dat de natuurwetenschap zou kijken met 'de blik van een dode'³⁹.

Het is het ontbreken van metakennis over het leefwereld-vreemde doel van de natuurkunde en over de daardoor noodzakelijke aanpak en attitude, die volgens Reif & Larkin²²¹, nog meer dan inhoudelijke verschillen, aanleiding zouden geven tot leerproblemen. Zij gaan zelfs zover om te spreken van “*a potentially more pervasive source of students’ difficulties, rooted in the fact that science is deliberately devised to attain specific goals. Thus it is “artificial” (...) and is in several respects distinctly different from the “natural” knowledge of everyday life. The differences lead to significant learning difficulties because many students do not adequately understand the goals of science nor the kinds of cognitive processes needed to deal with this unfamiliar domain. Hence students often pursue inappropriate goals and resort to inappropriate cognitive means. (...) The central scientific goal of optimal prediction and explanation is a very ambitious extension of the more modest predictive and explanatory goals of everyday life, and thus imposes much more stringent requirements. Furthermore, scientific advances over several centuries have led to scientific knowledge that has become increasingly more voluminous, more precise, more abstract and highly symbolic, and more prone to deal with phenomena and concepts never encountered in everyday life. As a result, the gap between scientific knowledge and that of everyday life has become increasingly large.*” Om haar doel te bereiken construeert de natuurkunde een heel bouwwerk van begrippen en relaties, modellen en theorieën. “*Free inventions of the human intellect, which cannot be justified either by the nature of that intellect or in any other fashion a priori,*” aldus opnieuw Einstein. Maar niet alles wat je kunt bedenken klopt met de werkelijkheid. De empirie stelt haar grenzen aan onze vrije ‘man-made’ constructies, “*the result of an extremely laborious process of adaptation, hypothetical, never completely final, always subject to question and doubt.*” En onze constructies worden ‘geleid’ door een aantal epistemologische normen, zoals: zo eenvoudig mogelijk (Ockham’s scheermes), zo elegant mogelijk, zo vruchtbaar mogelijk, zo algemeen mogelijk, etc. Daarnaast gaan we, sinds Galilei, uit van het ‘Mathematische Entwurf der Natur’²²². Galilei sprak immers de overtuiging uit dat het boek der natuur geschreven is in de taal van de wiskunde. Zijn werkelijk grote stap, aldus de Duitse filosoof en fysicus Von Weiszäcker²²², was dat hij de wereld niet beschreef zoals we haar waarnemen, maar zoals we haar *niet* waarnemen, namelijk uitgaande van een wiskundige idealisering. In onze aardse werkelijkheid bestaat geen eenparige beweging, noch een eenparig versnelde of vertraagde beweging. Deze begrippen worden eerst geconstrueerd als mathematisch ideaal en vervolgens over de werkelijkheid gelegd. In de realiteit zien we immers geen wrijvingsloos bewegende massapunten, geen massalozе staven, geen volledig starre voorwerpen, geen harmonische oscillatoren, en ook geen starre rotators. Dat zijn vanuit wiskundige optiek geïdealiseerde objecten, die mathematisch geïdealiseerde bewegingen uitvoeren. De langzaam uittrillende veer die we zien, is, alleen omdat we dat schema er bewust over heen leggen, in misschien zelfs wel goede benadering, op te vatten als een gedempte harmonische oscillator. Tegelijk zou, aan de andere kant, het idee van de harmonische oscillator nooit zijn geconstrueerd als er geen (ruwe) trillingsverschijnselen in de na-

²²¹ F. Reif & J.H. Larkin (1991). Cognition in scientific and everyday domains: Comparison and learning implications. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 733-760.

²²² B. Redeker (1990). Leefwereld en natuurkundige interpretatie bij het ontstaan van nieuwe kennis. *TD-β*, 8, 85-99.

B. Redeker (1991). Inleiding tot het begrijpbaar-maken en voorbeeld-begrijpen: over het ontstaan van nieuwe kennis. *TD-β*, 9, 46-58.

tuur zouden voorkomen. De werkelijkheid is dus zowel ‘bron voor’ als ‘toepassing van’ onze constructies. De moderne natuurkunde, die begon met Galilei en Newton, breekt met de aanschouwelijke samenhang in de directe waarneming. Zij moet het onderwerp van haar kennis, namelijk de idealisering en de relaties daartussen zelf construeren, zij treft het niet aan, aldus Redeker²²².

Het gebouw van de natuurkunde bestaat uit verschillende verdiepingen. Onderaan hebben we de empirische relaties en begrippen, waarvan de primitieve termen alleen door operationele definities gedefinieerd kunnen worden. Dus door het vastleggen van een meetprocedure. Deze zijn, zoals we gezien hebben, niet te verwarren met ‘begrippen uit ervaring’, de begrippen van de leefwereld. Vanuit metingen komen we via een constructieve sprong tot empirische begrippen en generalisaties. Door de constructieve sprong zijn ook deze empirische begrippen qua karakter al theoretisch, dat wil zeggen ingebed in een mathematisch-geïdealiseerd relatiernetwerk. Bijvoorbeeld, de eenparige beweging, of de eenparig versnelde beweging en de volgens deze bewegingen afgelegde wegen, etc. Een willekeurige snelheid, met bijbehorende afgelegde weg, kunnen we alleen aan met differentiaal- en integraalrekening. Een verdieping hoger worden empirische relaties theoretisch verklaard met behulp van modellen, waarbij de empirische begrippen door middel van correspondentieregels verbonden zijn met de modelbegrippen. Maar deze modellen leiden op hun beurt weer tot nieuwe experimenten en daarmee tot een nieuwe fenomenologie, die weer vraagt om ‘diepere’ modelverklaringen. Materiedeeltjes worden verfijnd tot atoommodellen, die weer verfijnd worden tot elektronenwolken, kernmodellen, quarks en strings. Deze gelaagdheid is typisch voor een voortschrijdende cumulatieve empirische wetenschap. In dit bouwwerk stroomt de empirische betekenis van onderop het gebouw binnen²²³. Vanuit de waarnemingstermen en de operationele definities naar de empirische begrippen en relaties, en via de correspondentieregels naar de modeltermen en hun relaties.

Tot zover een beknopte en gebrekkige karakteristiek van natuurkunde als wetenschappelijk product. Op de methode kom ik later nog terug. Blijft de vraag in hoeverre hier nu sprake is van ‘refinement’ van common-sense, even afgezien van de gemeenschappelijke fundamenteen die we eerder besproken hebben.

In het verleden is er trouwens vaak discussie geweest²²² over de vraag of natuurkunde leren, vanuit de leefwereld gezien, een continu dan wel een, noodzakelijkerwijs, discontinu verlopend proces zou zijn^{223,224}. Dus, anders gezegd, hoe ‘refined’ kan deze ‘refinement’ eigenlijk zijn. Gegeven deze omschrijving van diSessa, denk ik dat de typering van Jung²²⁵, die we ook terugvinden bij Freudenthal⁶⁸ ten aanzien van het leren van wiskunde, nog het meest adequaat is, namelijk dat sprake is van een ‘Kontinuität von Diskontinuitäten’. Waarna Jung deze vraag trouwens tegelijkertijd terzijde schuift als betrekking hebbend op een non-probleem.

²²³ H. Koningsveld (1976). *Het verschijnsel wetenschap*. Meppel: Boom.

²²⁴ G. Löffler & W. Köhnlein (1985). Weg in die Naturwissenschaften: Ein bruchloser Weg? *Physica Didactica*, 12, 39-50.

²²⁵ W. Jung (1979). *Aufsätze zur Didaktik der Physik und Wissenschaftstheorie*. Frankfurt: Diesterweg.

Ik wil nog even terug komen op de opmerking dat empirische betekenis via de waarnemingstermen de natuurkunde binnenstroomt. Heeft dat geen consequenties voor het leren in context, wat we in vorige hoofdstukken besproken hebben? Zegt dit niet juist dat de context van deze waarnemingstermen dan bepalend is voor de betekenis die ontstaat? Dat lijkt me de moeite waard om even bij stil te staan. Neem de waarnemingsuitspraak: 'Ik moet blijven trappen om in beweging te blijven en de kracht van de wind te overwinnen'. Er zijn heel wat generalisaties, reducties en constructiestappen nodig, voordat we van daaruit bij de volgende regel zijn gearriveerd: 'Op een fiets die rijdt met constante snelheid, werkt geen netto kracht'. Maar nog steeds is dan de empirische betekenis van kracht en beweging gekoppeld aan fietsen. Binnen een contextgebied als 'Verkeer' (zie hoofdstuk 4) vond generalisatie plaats naar bewegingen van voertuigen, vaartuigen en vliegtuigen. De vraag blijft dan hoe groot de resterende stap is naar een fysische regel 'elk object waarop geen netto kracht werkt, beweegt eenparig'. Pas dan is de regel immers geabstraheerd van alle contextbeperking en 'echte' fysische regel geworden²²⁶.

Dat brengt me tot een tweede aanvulling, met betrekking tot het begrip 'begrip'. In een klassieke begripsopvatting wordt altijd uitgegaan van eenduidig vastliggende, scherp definieerbare begrippen, als elementen van een streng hiërarchisch geordende vakstructuur. Een opvatting die nog steeds zijn sporen nalaat in het natuurkundeonderwijs²²⁷. Begrippen zouden zich eenduidig laten definiëren in termen van hoogstens enkele andere, hiërarchisch lager geordende begrippen, die dus in het voorafgaande onderwijs behandeld moeten zijn (bijvoorbeeld: snelheid als quotiënt van afstand en tijd). Begrippen kunnen dan dus ook geleerd worden door middel van deze definities. Een opvatting van begrippen als 'logical atoms', die zich weerspiegelt in de gebruikelijke lineaire structuur van leerboeken. Ook het onderwijsleerproces wordt dan geacht lineair te kunnen verlopen. Een idee dat nog versterkt wordt door de lineaire structuur van geschreven en gesproken taal. Als we begrippen zien als 'logical atoms', dan is het dus ook geen probleem om deze na elkaar en relatief onafhankelijk van elkaar aan te leren. Als het ene eenvoudiger begrip vastligt, kan vervolgens het daarop voortbouwende begrip geleerd worden, etc. Maar zo eenvoudig blijkt het niet te zijn. Een adequater begripsopvatting is om begrippen te zien als een soort knooppunt in een open netwerk van relaties²²⁸. Het gevolg is dat de betekenis van zo'n evoluerend begrip niet meer in een sluitende definitie te vangen is. Elke omschrijving heeft tegelijk een voorlopig en een aspectkarakter. Begripsvorming gaat samen met begripsontwikkeling en dat betekent dat een begrip niet geïsoleerd kan worden geleerd, maar dat het netwerk in zijn voorlopige totaliteit moet worden gevormd. Zo'n semantisch netwerk van relaties als geheel bepaalt de inhoud van een begrip, maar niet alleen. Het netwerk zelf ontleent zijn betekenis weer aan het totaal van situaties uit de 'werkelijkheid' waarop het kan worden toegepast. Dat is, zoals we gezien hebben, de contextuele inbedding,

²²⁶ In ieder geval kunnen we zo de opmerking van NINA dat contexten betekenis geven aan begrippen begrijpen en ook het paradoxale karakter daarvan inzien. Immers, NINA wil geen koppeling aan contexten, maar heeft ze wel nodig voor betekenisgeving.

²²⁷ P.L. Lijnse (1990). Preconcepten, begripsontwikkeling en basisvorming natuur- en scheikunde. In: K. Th. Boersma et al. (Red.) *Begripsontwikkeling in het vak natuur- en scheikunde in de basisvorming*. Enschede: SLO.

²²⁸ J.P.M. Geurts (1975). *Feit en Theorie*. Assen: Van Gorcum.

zonder welke natuurwetenschappelijke begrippen slechts pure fantasie zouden zijn. In het onderwijs blijft deze contextuele inbedding echter vaak beperkt en impliciet, net zoals de procedurele inbedding. Met dit laatste bedoel ik dat begrippen pas tot echte begrippen worden als we weten hoe en wanneer we ze moeten gebruiken. Pas als we ook met een begrip kunnen handelen, kunnen we immers zeggen dat we een begrip beheersen. Ook een netwerk schiet tekort, als het beperkt blijft tot inhoudelijke semantische relaties. Dit weten hoe je een begrip moet gebruiken, bepaalt evenzeer de inhoud als het weten wat een begrip (ongeveer) betekent. Deze handelingscomponent blijft in het onderwijs vaak goeddeels verborgen, als een soort ‘tacit knowledge’, die je je als leerling maar als vanzelf moet eigen maken. Toch gaat het om een essentieel kenmerk. Zelfs de meest elementaire begrippen worden door Koningsveld²²³ al omschreven als ‘wijzen van waarnemen’. En dus als een wijze van handelen, waarbij hij tegelijkertijd hun theoretisch karakter benadrukt door te spreken van begrippen als mini-theoretietjes. Maar dan wel theoretietjes, die hun waarde hebben bewezen, doordat je ze vanuit een bepaalde doelstelling hebt leren gebruiken. Deze theoretietjes zijn voor diegenen die zo hebben leren kijken tot een zinvolle bril geworden, waardoor de wereld wordt waargenomen. Een bril die, eenmaal opgezet, ook niet meer naar believen kan worden afgezet.

Tot zover een aantal opmerkingen over natuurkunde als sociaal geconstrueerde kennis, ook al heb ik over dat sociale niet veel gezegd. Maar dat geeft dan wel het motief om over te gaan naar het socio-constructivisme, als laatste onderwerp.

8.5 Van socio tot didactisch constructivisme

Een klassiek probleem in de filosofie is of er wel een wereld ‘buiten ons’ bestaat. En of we die dan eigenlijk wel kunnen kennen. Vreemd, voor fysici, of natuurwetenschappers in het algemeen, is dat geen probleem waar ze zich echt druk over maken. Natuurlijk waren de atomen en moleculen waar ik indertijd onderzoek naar deed voor mij reëel, net zo als geen van mijn collega-onderzoekers daar ook maar één seconde aan twijfelde. Hoe vreemd was het toen ik later, want wetenschapsfilosofie was immers geen regulier onderdeel van de opleiding, las dat die theorieën het ons alleen maar mogelijk zouden maken onze kennis over onze ervaringswereld efficiënt te organiseren. Maar dat ze dus weinig met de werkelijkheid te maken zouden hebben, en zo konden worden vervangen door nog efficiëntere ideeën, als die zich zouden voordoen. En dat de zekerheid die ik toekende aan mijn met zoveel voldoening bedachte en prachtig kloppende theorie, valse schijn geweest moet zijn, omdat we nu eenmaal niets zeker kunnen weten en zeker niet over de wereld ‘out there’. Het zou alleen mijn ‘constructie’ geweest zijn, waarover ik het misschien in onderling overleg nog wel met collega’s eens heb kunnen worden, maar waarvan het eindresultaat desondanks niets te maken heeft gehad met de werkelijkheid. Ontzettend interessant, maar gaat die wetenschapsfilosofie echt over ‘mijn’ wetenschap? Het centrale probleem in de discussie tussen theorie en werkelijkheid zit, aldus Dieks²²⁹ die ik hier nu zal volgen, in de on-

²²⁹ D. Dieks (1999). Een goed model? *TD-β*, 16, 4-11.

mogelijkheid empirisch vast te stellen of een door een theorie gegenereerd model op alle punten (ook wat onwaarneembare deeltjes en processen betreft) overeenstemt met de werkelijkheid. Ondanks deze cruciale moeilijkheid zien we dat in de praktijk één theorie, en één daarbij behorend beeld (model), het gewoonlijk wint. Ook al bestaan er in principe heel veel andere theorieën die op empirisch vlak even goed presteren, één theorie wordt ten slotte in de collegezalen gedoceed en komt in de leerboeken terecht. En doorgaans wordt die geaccepteerde theorie wel degelijk behandeld als misschien niet de uiteindelijke waarheid, maar dan toch als een heel goede benadering van de structuur van de wereld als geheel.

Die overwinning van één theorie kan niet worden gezien als een door logica en empirische gegevens afgedwongen uitkomst. Hoe moet er dan tegenaan gekeken worden? Volgens *socio-constructivisten* ligt het antwoord besloten in de vaststelling dat wetenschap een menselijke activiteit is. Natuurwetenschappelijke onderzoekers zijn, net als mensen met andere bezigheden, verwickeld in sociale processen waarin ze proberen anderen te overtuigen. Deze processen kunnen worden gezien als een soort onderhandelingen, waarin naast logica en discussie over wat de feiten zijn ook prestige, macht, de mate waarin over technische mogelijkheden beschikt kan worden, en soortgelijke factoren, een belangrijke rol spelen. Het zijn ingewikkelde processen van geven en nemen, waaruit ten slotte als eindresultaat consensus over het algemeen geaccepteerde beeld oprijst. De daarbij horende waarheid is dan dus niet door de fysische werkelijkheid aan de onderzoekers opgelegd, maar is door de onderzoekers zelf in een sociaal proces geconstrueerd. Natuurwetenschappelijke onderzoekers leggen een structuur op aan de werkelijkheid en niet andersom. Het socio-constructivisme was en is onderwerp van felle debatten. Sommige aanhangers van de beweging zijn extreem in hun claims, en suggereren dat er geen enkele rol is weggelegd voor een objectieve fysische realiteit bij de constructie van natuurkundige theorieën. Zij stellen dat zelfs waarneembare feiten en de beoordeling of een experimentele opstelling al dan niet goed werkt een kwestie van sociale constructie is. Natuurkundige theorieën zijn dan niet meer dan verhalen over de werkelijkheid, die op geen enkele manier een speciale status van waarheid kunnen claimen. Of, anders gezegd, ieder sociaal geconstrueerd verhaal over de werkelijkheid is even waar. Het zijn gezichtspunten, niet meer en niet minder, die gelden voor diegenen die ze als waar accepteren!

Deze discussies over de ontologische status en waarheid van theorieën en modellen, hebben ook in de science education literatuur van de afgelopen decennia hun sporen achter gelaten. Deze discussies varieerden tussen een zeer persoonlijk constructivisme, er van uitgaand dat ieder mens een eigen idiosyncratisch kennisbestand opbouwt, tot het net beschreven socio-constructivisme. Steeds werden daar ook vergaande consequenties aan verbonden voor het leren van die kennis. Ik volsta hier, voor zover een en ander al niet beknopt in het voorgaande aan de orde is geweest, met een aantal citaten ter illustratie.

“Can we say education is for the purpose of transmitting knowledge/culture? No. Individuals can only construct this for themselves.” (Dykstra, 1993)²³⁰.

“Constructivism is a set of beliefs about knowledge that begins with the assumption that reality exists

but cannot be known as a set of truths.” (Tobin et al., 1993)²³⁰.

“Although we may assume the existence of an external world we do not have direct access to it; science as public knowledge is not so much a discovery as a carefully checked construction.” (Driver & Oldham, 1986)²³¹.

“Science as knowledge is an intellectual construct, and what are referred to as the laws of nature are merely the result of this human activity. Nature as such does not have laws.” (Nadeau & Desautels, 1984)²³².

“... a different view of knowledge has emerged... (which) discards the notion that knowledge could or should be a representation of an observer-independent world-in-itself and replaces it with the demand that the conceptual constructs we call knowledge be viable in the experiential world of the knowing subject.” (von Glasersfeld, 1989)²³³.

“... science is form of fiction or discourse like any other, one effect of which is the ‘truth effect’, which (like all literary effects) arises from textual characteristics, such as tense of verbs, the structure of enunciation, modalities and so on.” (Latour & Woolgar, 1986)²³⁴.

“If some foreign languages are more difficult for you to learn than others, that is mainly because they are less like the language you already know, or the experiences they represent are less familiar. Science has its own distinctive genres, its thematic formations, its practical skills. In their forms they are no more intellectually complex or difficult than those of any other subject. They are less familiar, less like what we are already used to.” (Lemke, 1990)²³⁵.

Hieruit komt een zeer beknopt beeld naar voren van hoe, met name in de Angelsaksische wereld, het ‘constructivisme als epistemologie’ tot grote twijfel leidde over de uitgangspunten voor en mogelijkheden van het science-onderwijs. Ogborn^{214,236} heeft hiermee de vloer aangeveegd, en wel als volgt: *“At the present time, science education shows distinct signs of a loss of nerve. There are doubts about what should be taught, and even greater doubts about what can be taught, especially to all pupils. Some have even persuaded themselves that what ordinary children and adults know about the world from their everyday commonsense knowledge is perfectly in order as it is; that there is nothing further for science education to do. Others have talked themselves into thinking that all there is to teach is some ‘scientific method’, some way of being ‘scientific’, and that the difficult stories which science has to tell about the world can safely be left on one side. Yet others have come to hold that scientific ideas are barely worth the telling, because after all –*

²³⁰ D.I. Dykstra (1993). The challenge of understanding educational implications of radical constructivism. *Newsletter AERA-SIG Subject Matter Knowledge and Conceptual Change*, 18, 7-8.

K. Tobin & D. Tippins (1993). Constructivism as a referent for teaching and learning. In: K. Tobin (Ed.), *The Practice of Constructivism in Science Education* (pp. 3-21). Washington: AAAS Press.

²³¹ R. Driver & V. Oldham (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13, 105-122.

²³² R. Nadeau & J. Desautels (1984). *Epistemology and the Teaching of Science*. Ottawa: Science Council of Canada.

²³³ E. Von Glasersfeld (1989). Cognition, construction of knowledge and teaching. *Synthese*, 80, 121-140.

²³⁴ B. Latour & S. Woolgar (1986). *Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts*. Princeton: Princeton University Press.

²³⁵ J.L. Lemke (1990). *Talking Science: Language, Learning and Values*. Norwood: Ablex.

²³⁶ J. Ogborn (1997). Constructivist metaphors of learning science. *Science & Education*, 6, 121-133.

J. Ogborn (1995). Recovering reality. *Studies in Science Education*, 25, 3-38.

it is said – they are just temporary constructions of the human mind, no better than any others, and liable to be replaced at any time.”

Bedenk, ook al is dit geschreven rond het hoogtepunt van het ‘educational constructivism’, waarschijnlijk hebt u in de praktijk van deze ‘loss of nerve’ niets gemerkt. Gaat dit over mijn natuurkundeonderwijs, zult u zich afvragen? Ook de ‘filosofen van het science-onderwijs’ willen nog wel eens los gaan zweven van de realiteit²³⁷. Maar ook hier geldt, het is wel interessant om hun gedachtegang nader te leren kennen. Hoe komt iemand tot zoiets, want ook al heeft dit wetenschapsrelativisme uiteindelijk in het onderwijs weinig tot geen vaste voet gekregen, in de publieke opinie speelt het wel degelijk een rol. Regelmatig hoor ik van mensen, vooral uit de niet-exacte hoek, dat hún verhaal weliswaar een ander verhaal is dan het wetenschappelijke, maar daarom nog niet minder waar, of minderwaardig. Want ieder mens heeft immers recht op zijn eigen waarheid!

Terug naar de redenering van Ogborn: *“In the case of learning and understanding science, a key recent metaphorical shift has been that from knowledge imagined as found to knowledge imagined as made. This shift underlies the many varieties of ‘constructivism’ which are currently recommended as a way of thinking about learning.*

To find is often to see, though occasionally things are found by groping in the dark. What is found existed before it is found (...) What is found can only be what it is. (...)

To make is not at all to look for the product, though one may need to look for the materials. What is made did not exist before it was made. (...) What is made could have been made differently, indeed it seems likely that it has been or will be. (...)

In the contrast between these two metaphors, we have much of the essence of the conflict between on the one hand empiricist, inductivist or positivist images of science, and on the other either the social or philosophical constructivism. We have also, quite independently, a mirror of the conflict between views of learning, either as the giving or handing on of knowledge or as the active making of one’s own knowledge. Much of the appeal of the constructivist image of learning and understanding science comes from running together these two quite distinct matters – the nature of learning and the nature of scientific knowledge.

There is plainly no necessary connection between the nature of knowledge and how that knowledge is best learned or taught, though there is an obvious consequence for what the learner needs to be taught about the nature of that knowledge. (...) Nothing directly follows for the learning of a poem that a poem is made in a certain way, though something may follow if one is teaching how to make poems. Equally, nothing follows directly about learning (say) the nature of gases that this knowledge was made, or found, in a certain way, though again, something may follow if one’s concern is to teach how to make, or find, that kind of knowledge.”

Dit laatste is in feite hetzelfde argument dat eerder beschreven is bij het ontdekkend leren, maar nu toegepast op het constructivisme. Ook hierin werd, zoals we straks nog in meer detail zullen zien, dezelfde verbinding gelegd. En die houdt dus in dat leerlingen eenzelfde ‘constructieweg’ moeten volgen, als verondersteld wordt te gebeuren in de wetenschap. En dus moeten leerlingen steeds actief zijn, eigen ideeën inbrengen

²³⁷ Zie ook: J.F. Osborne (1996). Beyond constructivism. *Science Education*, 80, 53-82.

J. Solomon (1994). The rise and fall of constructivism. *Studies in Science Education*, 23, 1-19.

en checken, onderhandelen over elkaars ideeën, en is er weinig of geen plaats voor uitleg of demonstratie van de docent, want die moet het constructieproces van de leerlingen begeleiden. Met in de meest extreme gevallen dat in het onderwijs, inderdaad, de eindproducten van die constructiewegen, ‘children’s science’ genoemd, geacht werden gelijkwaardig te zijn aan de ‘scientist’s science’. Het voert te ver om Ogborn’s argumentatie tegen deze ‘constructivist confusions’ in detail te volgen, maar het komt er op neer dat hij om te beginnen, in overeenstemming met de praktijk van de natuurwetenschap, kiest voor een duidelijke *realistische* positie. Natuurwetenschap gaat over een echte wereld, met echte objecten, ook al kennen we die misschien nog niet volledig: “*The fundamental basis of this realism is extremely simple, and is the same as the basis of our everyday commonsense realism. It is based on a simple, obvious, elementary commonsense thought: ‘we can think whatever we like, but we cannot do whatever we like’.*”

It goes with the view that knowledge in the natural sciences is made by human beings, is never – because nothing ever could be – absolutely certain, and yet provides solidly reliable accounts of the real material world, upon which we confidently act – which is to say, of which we are certain, in the everyday meaning of the word.”

En kijk, daarmee heb ik ‘mijn wetenschap’ weer terug. Natuurlijk, we kunnen bedenken wat we willen, we kunnen het samen eens worden over van alles en nog wat, maar uiteindelijk moet het kloppen met de werkelijkheid. Door te handelen kunnen we dat nagaan, want we kunnen niet alles doen wat we bedenken. En als onze handelingen met de objecten waar we eerst nog maar aarzelend in geloofden, voortdurend succes opleveren, dan gaan we steeds meer in hun bestaan geloven. Als we een atoom kunnen neerleggen waar we willen, dan bestaat het, ook al is onze kennis ervan nog onvolledig en misschien zelfs wel gedeeltelijk onjuist. Het probleem komt als we het bestaan van iets gelijk stellen met de kennis die we er van hebben. Dan kunnen we immers uit onzekere kennis nooit concluderen tot het bestaan van iets. En dus ook niets over het bestaan van de ‘echte’ wereld. Maar, zoals Ogborn beschrijft, dat gaan geloven in het bestaan van ‘natuurwetenschappelijke objecten’ komt niet vanzelf, het is het product van soms jarenlang wetenschappelijk werk. Van voortdurend schaven en bijschaven, net zolang tot de vraagtekens geminimaliseerd zijn en we er zo zeker van kunnen zijn als maar praktisch mogelijk is. En hoe nu met ons natuurkundeonderwijs? Kunnen we dat ook terugkrijgen? Ook wat dat betreft scheidt Ogborn het kaf van het koren. Het kaf is een groot aantal zaken, waarvan hij zegt dat ze gewoon ‘wrong or confused’ zijn, maar er blijft wel degelijk wat over dat de moeite waard is: “*I think that educational constructivists do correctly insist on four essential points:*

- *the importance of the pupil’s active involvement in thinking if anything like understanding is to be reached;*
- *the importance of respect for the child and for the child’s own ideas;*
- *that science consists of ideas created by human beings;*
- *that teaching should give high priority to making sense to pupils, capitalizing and using what they know and addressing difficulties that may arise from how they imagine things to be.”*

Ik denk dat iedereen het hiermee eigenlijk wel eens kan zijn. Voor mij is dit de verwoording van wat ik onder ‘didactisch constructivisme’ versta. Iets wat ik eerder had

samengevat in de slogan: ‘nieuwe kennis wordt geconstrueerd op basis van al bestaande kennis’. En daarmee hebben we dus inderdaad ons natuurkundeonderwijs weer terug, al is het niet zonder meer hetzelfde gebleven. Want de vraag hoe je deze, op zich triviale, slogan didactisch productief maakt, is allesbehalve triviaal. Ook Ogborn’s vier-puntenplan geeft daartoe nog weinig concrete aanwijzingen. En de vraag wordt dus of die er inmiddels niet toch al wel zijn?

8.6 Reflectie

De periode van eind jaren zeventig tot half jaren negentig van de vorige eeuw waren de hoogtijdagen van het constructivisme. Niet dat het nu compleet heeft afgedaan, maar de hemelbestormende filosofieën en verwachtingen zijn duidelijk voorbij. Wat er van over is, is grotendeels ingebed in nieuwe hypes, zoals de cultuur-historische benadering. Als didacticus kon je het niet maken om er niet in mee te gaan. En als nieuwe benadering leek het ook heel veelbelovend, met name omdat er veel aandacht uitging naar de inhoudelijke begripsproblemen in het onderwijs. Dat was tenminste echte wetenschappelijke vakdidactiek, althans zo leek het. Ook ik heb me schuldig gemaakt aan die gedachte. Altijd heeft ‘het constructivisme’ geleden onder de onduidelijkheid over wat er eigenlijk mee bedoeld wordt. Gaat het om een epistemologische opvatting over onze kennis van de wereld en over die wereld zelf? Is het een algemene leertheorie, over hoe kennis ontstaat bij lerenden? Gaat het om de vraag hoe individuen kennis construeren, of juist om hoe dat in interactie tussen mensen gebeurt? Of is het alles tegelijk? Wat is de rol van taal daarin? En van ‘directe’ ervaring? Zoals eerder gezegd, heb ik me steeds geconcentreerd op de veronderstelde didactische relevantie, samengevat in de ‘triviale’ slogan: ‘nieuwe kennis wordt geconstrueerd op basis van al aanwezige kennis’, en daar moet je op gepaste wijze rekening mee houden. Al die andere zaken zijn, in het kader van dit boek, eigenlijk bijzaak, maar wel heel interessante bijzaak!

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de constructivistische diagnose van de didactische problematiek, althans voor zover die betrekking had op het leren van leerlingen. Ook nu weer heb ik de problematiek van het didactiek leren van docenten buiten beschouwing gelaten, maar het laat zich raden dat daarin een duidelijke parallel werd getrokken. Ik wil nu proberen terug te kijken op de grote lijn in dit hoofdstuk, om me af te vragen wat nu eigenlijk de les is die hieruit resulteert.

Als reactie op enerzijds de eenzijdige Piagetaanse nadruk op de ontwikkeling van het logisch denken, en anderzijds op de problemen die zich voordeden met het inductieve ontdekkend leren uit de ‘grote projecten’, verschoof eind jaren zeventig de aandacht naar de inhoudelijke leerproblemen van leerlingen. In overeenstemming met de ‘vroege Piaget’ kwam de nadruk te liggen op de (pre)concepties waarmee leerlingen de natuurkundelessen binnenkomen. Het belang hiervan werd filosofisch onderbouwd door een constructivistische wetenschapsfilosofie. De theoriegebonden waarneming ‘verklaarde’ waarom leerlingen in hun experimenten niet datgene ‘ontdekten’ wat ze geacht werden te zien. Ze waren niet de veronderstelde ‘tabula rasa’, onbeschreven bla-

den, die alleen maar op de goede manier volgeschreven hoefden te worden! Deze constructivistische ‘wending’ leidde tot een geweldige hoeveelheid onderzoek naar ‘misconcepties’ van leerlingen. Deze term vond zijn oorsprong in het feit dat veel uitspraken van leerlingen fysisch ‘fout’ bleken te zijn. Of, was het beter, zoals later steeds meer gebeurde, te spreken van ‘nog niet fysisch juist’? In dit onderzoek werd aanvankelijk ook geen helder onderscheid gemaakt tussen denkbeelden van leerlingen ná onderwijs over het onderzochte onderwerp, en denkbeelden die daar aan vooraf gaan. De eerste kunnen terecht ‘misconcepties’ worden genoemd, in die zin dat de onderwezen concepties niet op de gewenste fysisch juiste wijze worden geïnterpreteerd, de tweede kunnen beter worden aangeduid als preconcepties. Juist ten aanzien van deze preconcepties ontstond geleidelijk een zekere onvrede met de gang van zaken om leerlingen maar steeds allerlei fouten toe te dichten. Duidelijk werd dat je deze uitspraken niet als fysisch moet beoordelen, maar dat je je moet verplaatsen in de denkwereld van de leerlingen, om, hoe moeilijk dat ook is, te achterhalen wat ze eigenlijk precies bedoelen met hun uitspraken. Er bleken toen nogal wat methodologische haken en ogen te zijn aan veel van het gepubliceerde onderzoek. Werden leerlingen wel op de juiste wijze geïnterpreteerd? Daardoor kwam er ook aandacht voor het preciezer in kaart brengen van het leefwerelddenken van mensen (en leerlingen), want dat was immers de ‘kennisbasis’ waarmee leerlingen de klas binnenkomen. En hoe verhoudt dit leefwerelddenken zich dan tot het natuurkundige denken? In hoeverre is het één gewoon een voortzetting van het ander? Of is er een duidelijke breuk, een discontinuïteit, tussen wat je dan twee denksystemen zou kunnen noemen? En wat voor consequenties kunnen we daaraan dan verbinden voor het natuurkundeonderwijs? In ieder geval zouden die dan vooral tot uiting moeten komen in het natuurkundige beginonderwijs. Immers, als daar een belangrijke overgang met te grote didactische stappen wordt genomen, ben je misschien al veel leerlingen voorgoed kwijtgeraakt. Maar ook daarna zal inzichtsvol leren moeilijk zijn.

Dit is, kort samengevat, de grote lijn in dit hoofdstuk. Ik heb deze lijn behandeld aan de hand van een aantal voorbeelden van ‘eigen’ onderzoek. Uit onderzoek naar het leren van leerlingen over mechanica, energie, materie, deeltjes en ioniserende straling, heb ik enerzijds laten zien dat zich, bij gedetailleerde beschouwing, veel begripsproblemen bij leerlingen voordoen, die je kunt opvatten als het, op grond van hun voorkennis, worstelen met de constructie van de in het onderwijs te leren begrippen. Juist ook omdat dat onderwijs daar steeds onvoldoende op blijkt te zijn ingesteld. Bij de gegeven voorbeelden bleek ook dat de leerlingreacties in feite steeds op twee manieren geïnterpreteerd kunnen worden. Enerzijds is wat ze zeggen nog niet fysisch juist, de te leren natuurkunde is nog niet geland, maar anderzijds is het, vanuit de leefwereld gedacht, vaak heel begrijpelijk en correct. Al zijn er natuurlijk ook verwarde mengvormen. Tegelijk bleek het nog niet zo eenvoudig om die leefwereldinterpretatie ook altijd te vinden. En dit weerspiegelt het probleem dat de expert vaak niet meer in staat is om zich in te leven in de beginner. De expert heeft zich nieuwe vanzelfsprekendheden gevormd waar hij niet zomaar aan kan ontkomen. Dit is precies ook het probleem dat zich in veel onderwijs kan voordoen, in de discussie tussen leerling en docent. De docent snapt niet meer wat de leerling zegt, de leerling nog niet wat de docent zegt. Met als resultaat ernstige communicatieproblemen in de klas. De leerling heeft dan

geen andere keus dan geforceerd napraten wat de docent zegt (in de hoop het misschien later nog te kunnen begrijpen), of afhaken. Zo'n communicatieprobleem is uitgebreid geïllustreerd met behulp van een lesprotocol. Aan de hand daarvan is ook geïllustreerd hoe je, ons inziens, leerlingen verkeerd kunt interpreteren en dan ook komt tot verkeerde conclusies en verkeerde didactische oplossingen. Hieruit blijkt ook het belang van een goede interpretatie. Veel interpretatieproblemen bleken terug te voeren tot het onterecht veronderstellen dat leerlingen 'in een andere wereld' zouden leven. Ofwel, dat ze andere (foute) beliefs zouden hebben ten aanzien van die wereld. Vruuchtbaarder is het om, omdat en voor zover we in een gemeenschappelijke wereld leven, te veronderstellen dat we grotendeels dezelfde beliefs hebben, maar in onze communicatie daarover met dezelfde woorden niet altijd hetzelfde bedoelen. Maar dan moet het, juist omdat we uit kunnen gaan van een gemeenschappelijke wereld, en dus van voldoende 'common ground', mogelijk zijn om elkaar op een gegeven moment te kunnen begrijpen.

Hierin ligt naar mijn idee een zeer belangrijke didactische les (die natuurlijk veel grotere draagwijdte heeft). Op een goede manier aansluiten bij de voorkennis van leerlingen en een juiste interpretatie van die voorkennis, gaan hand in hand. Het een kan niet zonder het ander. En uit het vele onderzoek naar begripsproblemen, al of niet onder constructivistische vlag, blijkt maar al te duidelijk en al te vaak dat het juist aan die correcte interpretatie ontbreekt. En dus dat het startpunt voor een goede didactische interventie vaak al meteen verkeerd gekozen is. Dit belang van goede interpretatie, écht luisteren naar leerlingen, geldt natuurlijk niet alleen aan het begin van een onderwijsleerproces. Het is altijd geldig, gedurende het hele proces en is essentieel om een geforceerd leerproces te voorkomen.

Naast het belang van aandacht voor begripsproblemen en een goede interpretatie daarvan, kwam steeds meer de vraag naar hun oorsprong naar voren. Is het werkelijk nodig om voor allerlei verschillende begrippen en in allerlei verschillende onderwijssituaties te gaan zoeken naar pre- en misconcepties, of is daar bij nader inzien een verklarend patroon in te ontdekken? In zekere zin is in dit zoeken naar reductie en verklaring een aantal niveaus te ontdekken. Na de aanvankelijke euforie over de individuele 'idiosyncratische constructies' van leerlingen, bleek de diversiteit daarin, en dus ook de individualiteit, nogal mee te vallen. Gelukkig maar! Eigenlijk bleek het aantal belangrijke pre- en misconcepties per onderwerp meestal heel beperkt, en ook, zoals beschreven, internationaal een grote mate van gemeenschappelijkheid te vertonen. Er moest dus een gemeenschappelijke oorsprong of achtergrond zijn, die werd gevonden in het leefwerelddenken. Inderdaad bleken veel misconcepties hun oorsprong te hebben in de doorwerking van leefwerelddenkenbeelden als preconcepties. Naast deze specifieke inhoudelijke denkbeelden, werd vervolgens de invloed gedetecteerd van specifieke inhoudsoverstijgende redeneerpatronen (van Viennot, bijvoorbeeld), die vanuit de leefwereld hun weg vonden in het onderwijs, en bij nadere inspectie zelfs ook in de leerboeken en de natuurkunde zelf werden teruggevonden. Tegelijkertijd gaf dit aanleiding om het leefwerelddenken nog scherper te analyseren in termen van vanzelfsprekende kernen (zoals de p-prims), die zowel een diepere verklaring gaven van veel 'leerlingdenkbeelden', als een hypothetische mogelijkheid om in het leerproces de overgang van leefwereld naar natuurkunde beter te structureren. Anderzijds waren

anderen uit een dieper gevoel van onvrede met de situatie tot dan toe (Ogborn, Klaassen), op zoek naar een nog fundamentele karakterisering van leefwereld, natuurkunde en het verschil, alsmede van de overgang daartussen. In de eerste plaats moeten we dit, mijns inziens, zien als fundamentele bijdragen aan een door het constructivisme in gang gezette diagnose van de onderwijsproblematiek. Ook al is het de vraag of deze bijdragen als zodanig nog iets met dit constructivisme te maken hebben. Of deze fundamentele bijdragen, trouwens net als alle anderen, ook nog tot een praktische didactiekverbetering kunnen leiden, zal blijken in het volgende hoofdstuk.

Tot slot nog een enkele opmerking over de filosofische bijdragen. Steeds weer blijkt dat, zodra zich een nieuw theoretisch gezichtspunt voordoet, er een tsunami van filosofische bijdragen ontstaat, die geacht worden dat gezichtspunt te onderbouwen en te funderen. Op zich is dat best interessant, maar belangrijker zou het wellicht zijn als deze tsunami gepaard zou gaan met een andere tsunami van op praktijktoepassing en verbetering gerichte bijdragen. Helaas, meestal zijn die twee niet in evenwicht. Zo ook bij het constructivisme, op grond waarvan inderdaad is beargumenteerd dat het onderwijs nauwelijks nog een taak heeft omdat leerlingen nu eenmaal hun eigen kennis construeren, en zolang die kennis 'viable' is in relatie tot de door hen opgedane ervaringen valt daar niets aan toe te voegen. Of dat docenten en leerlingen, op basis van gelijkheid, zouden moeten onderhandelen over de betekenis van 'onderwezen' begrippen. Immers, als de 'children's science' gelijkwaardig is aan de 'scientist's science' blijft er niet veel anders over! Gelukkig zijn deze uitwassen inmiddels weer grotendeels vergeten, mede op grond van de vernietigende kritiek van mensen als Ogborn.

Rest ons nu slechts om ons af te vragen of deze constructivistische diagnose ook heeft geleid tot vruchtbare constructivistische oplossingen. Het zal u niet verbazen, vermoed ik, dat ook wat dat betreft er een veelheid van meer of minder succesvolle voorstellen zijn geweest. De volgende hoofdstukken zullen een aantal daarvan bespreken.

9 Constructivistische ‘oplossingen’: avant et après la lettre

9.0 Doel

Het constructivisme heeft geleid tot een breed spectrum aan pogingen om tot gefundeerde didactiekverbetering te komen, wat natuurlijk alles te maken had met het feit dat het daaraan verder weinig richting gaf. Dit hoofdstuk wil een overzicht geven van enkele van de belangrijkste pogingen. Wat waren hun sterke punten die we ook vandaag toch nog zouden moeten gebruiken? En waarom werken die vaak toch ook weer niet zoals gehoopt? Om te beginnen zal ik twee Nederlandse bijdragen bespreken die je zou kunnen rangschikken onder ‘constructivisme avant la lettre’: de WEI en het realistisch rekenonderwijs. Om daarna over te gaan op de theorie van ‘conceptual change’, met inbegrip van enkele uitwerkingen daarvan. Daarna besteed ik aandacht aan andere constructivistisch geïnspireerde vormgevingen, waaronder de rol van de microcomputer voor het bevorderen van begripsontwikkeling.

9.1 WEI en de Van Hiele-niveaus

9.1.1 WEI-gedachten

“O, jij denkt nog in termen van overdracht!” Deze ‘beschuldiging’ werd me, voor het eerst, ergens begin jaren tachtig toegevoegd. Een gebeurtenis die zich nog minstens twee keer zou herhalen, al was de tweede keer de term ‘overdracht’ vervangen door ‘leerstof’, en de derde keer door ‘leren als een individueel proces’. Uitspraken die bij mij de nodige irritatie opriepen, maar vooral ook onbegrip. Was ik dan zo’n onbenul? Ik had toch al jaren ervaring achter de rug met onderwijsontwikkeling in het PLON-project, samen met zeer ervaren docenten en collega’s. Was dat denken van mij, en dus ook van al die anderen, dan niet vanzelfsprekend?

En, inderdaad, volgens mijn toenmalige gesprekspartner, de overigens uiterst beminnelijke chemiedidacticus Henk ten Voorde van de UvA, was dat niet alleen niet vanzelfsprekend, het was eigenlijk gewoon verkeerd. Dat was mijn confronterende kennisgeving met het werk van de WEI, de Werkgroep Empirische Inleiding in de Scheikunde. Het heeft me, moet ik toegeven, enige tijd gekost voordat ik dat werk ben gaan waarderen. Ten slotte zelfs zozeer, dat ik het hier als een belangrijke Nederlandse didactische bijdrage wil behandelen, die helaas in het vergeetboek lijkt te zijn terechtgekomen. De geschiedenis van de WEI is recentelijk beschreven door Vogelezang²³⁸, ook een voormalig lid van deze groep. Een artikel waar ik dankbaar gebruik van zal maken.

Het ontstaan van de WEI-groep vond zijn oorsprong in een toenmalige modernisering

²³⁸ M.J. Vogelezang (2005). Ontstaan en verdwijnen van de WEI-S en mogelijke betekenis ervan voor hedendaags vernieuwend scheikunde-onderwijs. *TD-β*, 22, 1-21.

van het scheikundeonderwijs. Voor zover ik weet draait scheikunde om stoffen en om de deeltjes waaruit die bestaan. Volgens de ‘modernisten’ moesten die deeltjes, de atomen en moleculen, en hun eigenschappen, meer voorop komen te staan, waarbij proeven of experimenten dan moesten gaan dienen om ‘bewijs’ te leveren voor deze onzichtbare micro-wereld. Eenzelfde uitgangspunt als we zijn tegengekomen in het voorwoord van ‘Natuurkunde op Corpusculaire Grondslag’ (hoofdstuk 1) en in toenmalige vernieuwingsprojecten als PSSC. Dit leidde echter tot problemen bij het onderwijzen, omdat de zienswijze van leerlingen vaak heel anders is dan die van de wetenschapper. Ofwel, tot misconcepties, zoals we die in het vorige hoofdstuk uitvoerig hebben besproken. Ten Voorde²³⁹ schreef daarover later als volgt: *“Echter in de groep van scheikundeleraren, waartoe ook ik behoorde, zijn deze misconcepties in begin van de zestiger jaren reeds onderkend als correcte concepties van leerlingen; de leerlingen kunnen alleen op die wijze de door scheikundeleraren niet bedoelde betekenis van de gebruikte chemietermen verstaan en verwoorden in de taal die zij gewoon zijn te spreken. Waar de scheikundeleraren en schoolboeken een abstracte betekenis bedoelen, met atoom als kleinste deeltje, verstaan de leerlingen dit als zijnde kleine stukjes van macroscopisch waarneembare hoeveelheden stof. De denkwijze van een leraar als chemicus komt dus, ondanks de goedbedoelde wijze van vereenvoudiging, geheel niet overeen met die van zijn leerlingen. Zulke aangeleerde verfeitelijkte kennis als resultaat van prematuur aangeboden, gegeneraliseerde wetenschappelijke feiten, noemden wij naïef-realistisch.”*

Hieruit blijkt dus inderdaad dat deze groep zijn tijd ver vooruit was, en dat roept te rechte bewondering op. En maakt uiteraard nieuwsgierig naar de door hen gezochte oplossing. Zij namen daartoe juist niet de atomair-moleculaire opbouw van de materie als uitgangspunt, maar wilden leerlingen eerst de nodige ervaring laten opdoen met ‘chemische’ stoffen en hun eigenschappen, een empirische inleiding dus. Daarin lag de bron van de WEL. Deze docenten gingen, met elkaar, een intensief onderling leerproces in (vormden een community, zouden we nu zeggen) om, vanuit hun eigen didactische en onderwijservaring, te kunnen komen tot een andere uitgewerkte visie op onderwijs en op het onderwijzen van scheikunde. Dit onderwijs zou moeten uitgaan van de volgende punten:

- gebaseerd zijn op *directe ervaring* rond verschijnselen;
- gebaseerd zijn op een gespreksmodel voor onderwijzen;
- gebaseerd zijn op het niveauschema van de Van Hiele’s;
- en gebruik maken van de door Van Hiele beschreven fasen bij onderwijzen: informatie, gebonden oriëntatie, explicitering, vrije oriëntatie en integratie.

Deze keuzen behoeven uiteraard nadere toelichting. Voor de eerste is dat hierboven al gedaan. *“Binnen die groep van leraren,”* aldus opnieuw Ten Voorde²³⁹, *“was de ervaring opgedaan dat, ondanks vele pogingen daartoe, de bedoelde betekenis niet kon worden duidelijk gemaakt aan hun leerlingen. Die ervaring met chemie-onderwijzen verwoordden zij met ‘niet-kunnen-uitleggen’. Maar we werden in onze mening bevestigd toen wij zelf, als universitair chemisch geschoolden binnen onze groep van leraren, vragen als ‘wat is een atoom?’ niet konden beantwoorden. Even-*

²³⁹ H.H. ten Voorde (1995). Chemie-onderwijzen en didactische structuur. In: O. de Jong, P.H. van Roon & W. de Vos (Eds.), *Perspectives on Research in Chemical Education* (pp. 21-43). Utrecht: CD-β Press.

min konden onze collega's buiten die groep ons het antwoord geven. Zij en wij kwamen voortdurend in taalnoed. Ook de chemie gaf hiervoor geen oplossing. Wij dienden zelf een chemie-taal te verwerven, die bruikbaar was voor chemie-onderwijzen. (...) Niet langer stond voor ons centraal de leerling als individu, maar wel werd de productiviteit van het samen doen van proeven én samen spreken over eigen ervaringen bij die proeven, ons fundamentele uitgangspunt voor chemie-onderwijzen en chemie-leren.” In deze nieuwe ideaalkeuze ging het de WEL-groep om ‘de productieve verscheidenheid van gelijkgerechtigden’ in een ‘durend gesprek’, als model voor de inrichting van de onderwijssituatie. De productiviteit van zo’n gesprek is niet zonder meer een verdienste van elk individu afzonderlijk, maar is vooral een verdienste van de gespreksgroep als geheel. En dat alles met als doel een didactische structuur te ontwikkelen die de kloof van onverstaanbaarheid tussen de vaktaal van de leraar en de leefwereldtaal van de leerlingen doet verdwijnen. Het volgende gaat hier in meer detail op in²³⁹.

“Aan een gesprek nemen verschillende mensen deel door een gemeenschappelijke betrokkenheid bij een gemeenschappelijke zaak (onderwerp, probleem, opgave). Ze vormen hierdoor een ‘gespreksgemeenschap’, die soms geruime tijd kan blijven bestaan in een reeks van elkaar opvolgende gesprekken. Ik zal zulk een reeks gesprekken in het vervolg aanduiden met de term: ‘durend gesprek’. Aan een gesprek neemt men deel in de verwachting daarvan ‘wijzer’ te worden. In een gesprek kunnen zaken veranderen, nieuwe gezichtspunten kunnen geopend worden, nieuwe zaken kunnen aandacht trekken, soms kunnen nieuwe zaken ontstaan. In dit veranderingsproces is taal meer dan communicatiemiddel. Over een bepaalde zaak kan men alleen spreken en elkaar verstaan, wanneer men elkaars taal (terminologie, jargon) verstaat. Nieuwe zaken kunnen alleen ter sprake worden gebracht voor zover men daarvoor geschikte taal heeft. Soms ontstaat in een gesprek een situatie van ‘taalnoed’; men kan niet zeggen wat men bedoelt, men zoekt naar woorden, soms moet men nieuwe woorden maken.

Gaat men onderwijssituaties ontwerpen volgens dit gespreksmodel, dan moet men uitgaan van zaken uit de wereld van de leerlingen waarover zij in hun moedertaal kunnen meepraten. De leerling wordt hier als mens gerespekteerd. Hij kan alleen aan het gesprek deelnemen, wanneer hij de onderwerpen reeds kent. Uit zgn. ‘directe ervaring’ heeft hij aan anderen iets te vertellen, terwijl wat anderen hem vertellen voor hem verstaanbaar en belangrijk kan zijn. In dit gesprek zal de leraar goed moeten luisteren naar de leefwereldtaal en leefwereldzaken van zijn groep leerlingen. Aan het gesprek kan hij dan deelnemen door het stellen van vragen, waardoor leerlingen opmerkzaam worden (‘aandachtsselectie’) voor een bepaalde kontekst (figuren en vormen voor een meetkundige kontekst; schommelen, zinken, drijven voor een natuurkundige kontekst, enz.). Uit het ontstane gesprek kan de leraar komen tot opdrachten, waarbij leerlingen met bekende zaken iets kunnen doen. In gesprekken over hun ondervindingen kunnen meningsverschillen en ‘welles-nietes’-situaties ontstaan. Zulke controversiële situaties kunnen, mede o.l.v. de leraar, worden overwonnen door een analyse, nieuwe opdrachten en nieuwe gesprekken, tenslotte uitmondend in een stukje van het hogere niveau. In dat relatienet is argumentatie mogelijk en kan de kontroverse worden opgelost. Op een dergelijke wijze kan het veranderingsproces in de gespreksgemeenschap worden geleid naar de volgende niveauverhogingen volgens het niveauschema. (...)

Nu kan niveauverhoging in niveauverhogend onderwijs worden herkend als een verandering van referentiekader. Leerlingen moeten het nieuwe referentiekader ontdekken. In onderwijssituaties moeten dus crisis-achtige toestanden in gespreksgroepen voorkomen. In de bekende en vertrouwde taalwereld moet een ‘ongenoege’ ontstaan, omdat bepaalde vragen niet beantwoord en bepaalde opgaven niet gemaakt kunnen worden. Aangesproken vanuit een andere taalwereld, kunnen leerlingen deze vragen

*en opgaven niet verstaan*²⁴⁰. Hieruit kan een toestand van grote onzekerheid voortkomen, waarin men het 'allemaal niet meer ziet zitten'. In het kennisoverdragende of vormende onderwijs tracht de leraar zulke krisistoestanden uit alle macht te voorkomen of te bezweren. Voorzover hij niet volstaat met het aanbrengen en trainen van bepaalde handelingsvoorschriften door 'dressuur', gaat hij uitleggen en helpen, d.w.z. vertaalt zaken van het hogere naar het lagere niveau. Maar door deze niveaureductie worden die zaken toch onbegrijpelijke handelingsvoorschriften. Meestal gebeurt dan het volgende. Aanvankelijk kan de leerling met zulke voorschriften verder komen bij het maken van daarop afgestemde opgaven. De leraar lijkt gelijk te krijgen. Maar in een later stadium blijkt deze gereduceerde kennis niet bruikbaar te zijn voor nieuwe niveauverboging. Gereduceerde kennis blokkeert het eigen levende denken van de leerling, want hij méént iets te weten en te kunnen. Maar in enigszins afwijkende gevallen loopt hij vast en moet hij nieuwe instructies vragen. De leerling is m.a.w. onmondig (gebouden). En doordat hij méént iets te weten wordt hij niet aangespoord tot verder zoeken en vragen stellen. De 'ongeïnteresseerde leerling' is ontstaan als resultaat van deze – meestal goed bedoelde – behandeling door de leraar. (...) In niveauverbogend onderwijs gaat het erom onder leiding van de leraar, zulke krisistoestanden te doorleven zonder niveaureductie. Dan alleen kan het nieuwe referentiekader ontdekt worden als een nieuwe veelbelovende levensmogelijkheid."²⁴¹

Tot zover een beschrijving van hoe het 'gespreksmodel', gecombineerd met 'directe ervaring', in principe moet kunnen leiden tot niveauverbogend onderwijs. En een analyse van wat er gebeurt in begripsforcerend onderwijs, die overeenkomt met eerder gegeven beschrijvingen. Over wat voor niveaus hebben we het dan eigenlijk, zult u zich waarschijnlijk inmiddels afgevraagd hebben. Het betreft hier de niveaustheorie die door Pierre van Hiele²⁴², wiskundedocent en didacticus, samen met zijn vrouw, in de jaren vijftig is ontwikkeld. "De Van Hieles waren er op grond van hun wetenschappelijk werk in het wiskunde-onderwijs van overtuigd geraakt dat problemen bij het leren van wiskunde niet op de eerste plaats voortkomen uit een te jonge leeftijd van de leerlingen, maar voortvloeien uit de vakstructuur. Zij constateerden dat zich soms situaties van elkaar-niet-verstaan voordoen tussen docent en leerlingen of tussen leerlingen onderling. Deze situaties van niet-verstaan verdwenen na verloop van tijd: het leek of er sprake was van het spreken van twee verschillende talen, waardoor de een de ander niet kon verstaan. Zodra de 'achterblijvende' leerling ook deze nieuwe taal leerde spreken en verstaan, kon hij ook deelnemen aan de zich ontwikkelende wiskunde-context. De Van Hieles benoemden dit als het optreden van verschillende denkniveaus, elk met een eigen bijbehorende taal."²³⁸ (...) "Hij [Ten Voorde] heeft laten zien hoe net als in wiskunde-onderwijs ook bij scheikunde-onderwijs kan worden gesproken over een niveau-structuur, dus dat het gesprek in het onderwijsleerproces steeds op één van de volgende drie niveaus gevoerd wordt: grondniveau, beschrijvend niveau of theoretisch niveau. Het grondniveau vormt een noodzakelijke beginfase. Een overeenkomst tussen grondniveau en leefwereld is dat de lerenden in beide situaties kunnen aanwijzen wat ze onder woorden hebben gebracht. Grondniveau en leefwereld verschillen van elkaar doordat in het grondniveau al een zekere aandachtsselectie heeft plaats gevonden. De deelnemers aan het gesprek voelen nog niet de noodzaak om slechts één betekenis voor een term met elkaar af te spreken. Zo wordt begrijpelijk dat in beginonderwijs

²⁴⁰ Hier zie ik een grote overeenkomst met de wetenschapsfilosofie van Thomas Kuhn, die in de hoogtijdagen van de WEI echter pas in druk was verschenen.

²⁴¹ H.H. ten Voorde (1977). *Verwoorden en verstaan*. Den Haag: SVO.

²⁴² P.M. van Hiele (1957). *De problematiek van het inzicht*. Purmerend: Muusses.

leerlingen bij gebrek aan afgesproken criteria, problemen niet door redeneren kunnen oplossen maar vaak terecht komen/verzanden in ‘welles-nietes’ situaties.

Wanneer de gespreksdeelnemers komen tot een eenduidige betekenis voor een term, vormt zich de mogelijkheid om met en voor elkaar controleerbare redeneringen te houden: een beschrijvend niveau ontstaat. Binnen het beschrijvende niveau worden dus relaties gelegd tussen begrippen. Wordt naar de structuur van deze relaties gevraagd, zodat de thema's uit het beschrijvende niveau het onderwerp van studie worden, dan gaan de deelnemers op weg naar een theoretisch niveau. Het theoretisch niveau onderscheidt zich van de voorafgaande, doordat een keuze wordt gemaakt voor een gezichtspunt dat de ervaring overstijgt, om verschijnselen in hun samenhang te begrijpen, bijvoorbeeld de keuze om een aantal stoffen als niet-ontleedbaar en niet-samenstelbaar te zien, omdat daarmee het niet-spoorloos verdwijnen en ontstaan van stoffen kan worden begrepen. Op grond van ervaring kunnen we niet besluiten tot de uitspraak dat een stof een eigenschap niet heeft, omdat de tegenwerping kan komen dat er nog verder moet worden geëxperimenteerd. Door hier nu wél vanuit te gaan, wordt de mogelijkheid geopend op een logische manier te redeneren en voorspellingen te doen, in dit geval ten aanzien van de mogelijke reactieproducten bij een reactie. Om volgens deze logica te werk te kunnen gaan, is het bestaan van stoffen die zowel niet-ontleedbaar als niet-samenstelbaar zijn als noodzakelijke voorwaarde verondersteld.’²⁴³

Stel dat we het hiermee eens zouden kunnen zijn, dan doet zich de volgende vraag voor: hoe kunnen we het onderwijsgesprek zo inrichten dat de overgang tussen niveaus optimaal wordt gefaciliteerd? Daarvoor onderscheidde de Van Hiele's vijf onderwijsfasen, die achtereenvolgens moeten worden doorlopen.

Tot zover een beknopt en onvolledig overzicht van de gedachten van de WEL. In feite was hier sprake van een zich steeds verder ontwikkelend samenhangend vakdidactisch kader, dat eigenlijk behoorlijk uniek was (en is) in zijn soort. Een visie op onderwijs en op onderwijzen. Een visie op de voor dat onderwijs noodzakelijke analyse, en niveaugewijze ordening, van de vakstructuur (de niveaustheorie). Alsmede een visie op hoe je, startend vanuit de leefwereld van de leerling, dit onderwijs ‘bottom-up’ kunt vormgeven en faseren. Dit alles culminerend in empirisch gefundeerde didactische structuren. We zien hier dus inderdaad een aanpak die er op gericht was de problemen uit het vorige hoofdstuk niet zozeer op te lossen, als wel te voorkomen. En vanwege, enerzijds, hun aanpak ‘van onderop’, met alle aandacht en ruimte voor de leerlingen om hun eigen gedachten te formuleren en in een serieus gesprek verder te ontwikkelen, en, anderzijds, de vormgeving van het onderwijsmateriaal in opdrachten voor gemeenschappelijke kennisconstructie, past dit in wat later een constructivistische didactiek is gaan heten. Het onderwijsmateriaal dat gemaakt werd bestond uit werkboeken, reeksen zorgvuldig geplande opdrachten, waaraan in groepjes van minstens

²⁴³ Voor wie zich afvraagt wat de werkelijkheidswaarde is van al deze gedachten, verwijs ik naar het protocol van Jet en haar leraar in het vorige hoofdstuk. Daar zie je een aantal van de voorgaande zaken duidelijk gedemonstreerd. Het ‘niet-kunnen-uitleggen’ en de ‘taalnood’ van de docent. Het redeneren vanuit verschillende referentiekaders en, als gevolg daarvan, een stokkend gesprek, de ‘kloof van onverstaaenbaarheid’. De ‘welles-nietes’ situaties, omdat argumentatie niet goed mogelijk is. Er is geen gezamenlijke afspraak op grond waarvan tot overeenstemming zou kunnen worden gekomen. Kortom, veel van de beschreven zaken komen al in dit ene protocol naar voren.

drie leerlingen moest worden gewerkt. Dan is er immers altijd een derde die kan reageren op wat eventueel de andere twee met elkaar bespreken.

De ontwikkeling van dit WEI-onderwijs was weer onderwerp van diepgaande reflectie in de groep van docenten, en zo was er sprake van gekoppelde leerprocessen. In de groep docenten werd 'didactiek geleerd', op grond van reflectie op het 'chemie leren' van de leerlingen. Om de didactische ervaringen te kunnen ordenen en benoemen, waren veel nieuwe termen nodig, evenzovele elementen van een zich ontwikkelend 'beschrijvend niveau didactiek'²⁴⁴. Daardoor ontstond echter ook een probleem. De WEI-groep, die zoveel aandacht had voor verstaanbaarheid voor leerlingen in hun onderwijs, werd onverstaanbaar voor collega's. Bijvoorbeeld, voor diegene die zich helemaal conformeert aan het gespreksmodel en de daarbij horende gelijkwaardigheid, is het zeer functioneel om niet meer te spreken van leerling en docent, maar van 'korter lerende' en 'langer lerende'. Een terminologie die uitdrukt dat in zo'n gesprek weliswaar sprake is van verschillende bijdragen, maar dat alle deelnemers van elkaar leren. Voor de nog-niet-ingewijde komt deze terminologie echter als nodeloos vreemd en daarmee pretentius over. Het leidt tot een gevoel van uitgesloten worden, er kennelijk niet bij horen. Een en ander had tot gevolg dat, nadat de WEI haar strijd om didactische 'vernieuwing' had verloren, ten gunste van de door de CMLS voorgestane 'vervroeging'²⁴⁵, zij zich steeds meer als een 'gesloten groep' ging opstellen. Daarmee heeft zij zich eigenlijk in een geïsoleerde positie gemanoeuvreed²⁴⁶, met als gevolg dat haar werk praktisch in de vergetelheid is geraakt. Het is triest en ironisch te moeten bedenken dat de afsluitende uitspraak van Ten Voorde²³⁹, bij zijn lezing ter gelegenheid van het afscheid van Adri Verdonk als hoogleraar chemiedidactiek aan de UU, "*Ik hoop u overtuigd te hebben van chemiedidactiek als beginnende wetenschap*", naar mijn idee, juist vanwege deze isolering, de plank volledig mis sloeg. Niet omdat er geen sprake was van beginnende wetenschap, integendeel, hun gedachtegoed werd in dat opzicht, inderdaad, voor insiders, volledig en overtuigend aan de orde gesteld. Maar wel omdat uit deze weergave een grote 'kloof van onverstaanbaarheid' naar voren kwam. Juist de chemische niet-insiders, dat wil zeggen juist diegenen die bij voorkeur overtuigd hadden moeten worden, zullen vooral gedacht hebben: 'Ik heb geen idee waar dit over gaat, maar als dit wetenschappelijke chemiedidactiek is, dan hoeft het niet voor mij!'

²⁴⁴ De volgende onvolledige set termen geeft daarvan een beeld: zakelijk gesprek, kloppende taalcontext, taalveld, niveau-invariante contextwisseling, gedisciplineerd taalgebruik, productief gesprek, verstudieboeking, verfeitelijkking, sluipende contextwisseling, probleemstellende contextwisseling, principekeuze, geeneraliseerde ervaring, chemiecontextvorming, thematische gerichtheid, vervroeging/modernisering in tegenstelling tot vernieuwing, veranderende groep-taal-zaak relatie, kwaliteit van argumentatie, korter lerende en langer lerende, gesloten of open groep, uitleidend onderwijs, voorbereiden-tot en voorbereid-zijn-door, klovige onderwijssituatie, aanwijzen en benoemen, chemische c.q. didactische taalverwerving, verstaanbaarheid, levend taalgebruik, grondniveutaal, aandachtselectie, situatiegebondenheid, begripsforcering, qua intentie chemicus zijn, spanningsveld tussen van bovenaf en van onderop.

²⁴⁵ Ook dit lijkt, oppervlakkig gezien, weer terminologische muggenzifterij, terwijl er in wezen een zeer fundamenteel verschil in didactische opvatting aan ten grondslag ligt.

²⁴⁶ Het werk van Van Hiele heeft aanzienlijke internationale verspreiding gekregen (onder andere in de Sovjet Unie en de USA). Het werk van de WEI heeft, voor zover mij bekend, alleen enige bekendheid gekregen in Duitsland. In ons land is er, vooral door Vegting, wel een WEI-natuurkunde geweest, maar die is niet tot enige bloei gekomen.

Dit illustreert een soortgelijk implementatieprobleem als eerder gememoreerd bij het PLON en DBK. Voor inhoudelijke productiviteit is een gesloten groep uitstekend, maar voor herkenbaarheid en implementatie van hun product is het bijna dodelijk. Overigens is dit slechts een voorbeeld van een veel algemener probleem, namelijk dat van de vakdidactische wetenschappelijke ontwikkeling van docenten. Stel dat we inderdaad zouden beschikken over een vakdidactische theorie die het waard is verspreid en toegepast te worden. Deze zal dan altijd een zekere afstand hebben tot, en tegelijk ook kritiek inhouden op, de vigerende praktijk. Dat resulteert dan in een ernstig scholingsprobleem. Immers, de docenten zullen meestal nog niet aanspreekbaar zijn voor de zaken waar de theorie zich juist op richt (te grote kloof tussen langer lerenden en korter lerenden!). Doordat ze die zaken onvoldoende herkennen uit eigen ervaring, ontstaat er ook geen leermotief (of geen mede-eigenaarschap, het wordt geen eigen concern, zoals het tegenwoordig heet). En dus interpreteren ze de te onderwijzen theorie al snel als niet-relevante ‘luchtfietserij van vrijgestelden’. Kortom, er ontstaat geen productieve wisselwerking tussen theorie en praktijk. Mede hierdoor doet zich de situatie voor dat van alle vakdidactische theorievorming die de laatste decennia heeft plaatsgevonden, nauwelijks iets de onderwijspraktijk heeft bereikt. Het werk van de WEI is hiervan wel een zeer pregnant voorbeeld²⁴⁷. En dat ondanks het feit dat hun werk niet alleen inhoudelijk, maar ook methodologisch ver voorop liep. Hun aandacht voor de bestudering van begripsontwikkeling in feitelijke onderwijsituaties, met behulp van gedetailleerde methoden van protocolanalyse (zoals aandacht voor verandering van het gebruik van taalvelden, bijvoorbeeld: de overgang van ‘kracht hebben’ naar ‘kracht uitoefenen’ als blijk van begripsontwikkeling bij leerlingen), werd pas jaren later, geheel onafhankelijk van de WEI, ook door veel anderen tot onderzoeksoptiek gekozen. Daarnaast waren zij uiterst zorgvuldig in het publiceren van al hun onderzoeksgegevens, zodat hun analyses voor iedereen controleerbaar waren en zijn. Een houding die heden ten dage, in een tijd waarin, juist wat de omgang met data betreft, de wetenschap aan veel kritiek onderhevig is, als voorbeeldig kan worden aangemerkt. Maar deze nauwgezette werkwijze, didactiek op de vierkante millimeter, zoals het wel smalend werd genoemd, stond en staat haaks op de grote dynamiek van de onderwijsveranderingen van de laatste decennia. Dat past niet meer in onze flitsmaatschappij. In feite heeft aandacht voor begripsontwikkeling, en de daarbij horende poging om te komen tot op onderzoek gebaseerde vakdidactische theorievorming, het pleit volledig verloren van de ‘vervroegers’, de vakwetenschappelijk gemotiveerden voor inhoudelijke updating.

Maar hoe stond het nu met het succes van het door hen ontwikkelde onderwijs? Was dat wel zo ideaal en wat vonden leerlingen daar eigenlijk van? Laat ik dit illustreren

²⁴⁷ Een onderbouwing van deze beweringen volgt bijvoorbeeld uit een nadere bestudering van de verslagen van de jaarlijkse WND-conferenties. Als we deze verslagen beschouwen als kenmerkend voor de didactische discussie in het natuurkundige onderwijsveld, dan blijkt deze zich praktisch volledig op didactisch intuïtief niveau te voltrekken. Er wordt zeer veel gesproken over natuurkundige en technologische ontwikkelingen en over daarop gebaseerde curriculumvernieuwingen, maar er is nauwelijks aandacht voor het didactisch inrichten en optimaliseren van het onderwijsleerproces. Er blijkt ook nauwelijks taal beschikbaar te zijn om daarover indringend met elkaar te spreken.

met een citaat van Klaassen²¹⁵. “*In het door de WEI ontwikkelde materiaal worden de leerlingen in zekere zin inhoudelijk centraal gesteld. De vakstructuur wordt hen niet geforceerd opgelegd; er wordt uitgegaan van hun leefwereldtaal; er is veel ruimte voor hun eigen benoemingen van hun ervaringen met (chemische) verschijnselen; er wordt met veel zorg een didactische lijn ontwikkeld waarin ze productief kunnen bijdragen aan de door de ontwerpers beoogde niveauverbodgingen in het zakelijk gesprek, etc. Wat mij betreft vormt het werk van de WEI daarom een voortdurende en rijke bron van ideeën voor de didactiek van de natuurwetenschappen in het algemeen en voor de scheikundededidactiek in het bijzonder. Dit neemt niet weg dat ik ook kritiek heb op de WEI benadering. In bepaalde opzichten, namelijk, staan de leerlingen in het werk van de WEI inhoudelijk juist niet centraal. Waar ik op doel berken ik in wat Vegting zegt (in een bespreking van het proefschrift van Vogelesang²⁴⁸) op grond van eigen ervaring als docent met het WEI-materiaal.*

“*[Het is jammer] dat enig onderzoek naar de wijze waarop leerlingen deze aanpak hebben ondergaan en gewaardeerd, afwezig is. Dat laatste klemt temeer, daar leerlingen, blijkens diverse protocollen, blijven steken in opdrachtgebondenheid. Uit mijn eigen ervaring weet ik dat ze niet inzien waar ze naar toe gaan en dus niet verder kunnen kijken dan de volgende opdracht. Ik vermoed dat de onderwijsgang is geconstrueerd, althans deels, vanuit de problematiek van het onderwijzen van de docent. Die problematiek bestaat dan daaruit dat de leraar tracht te komen tot een verzoening van vakstructuur met didactiek, zo komt het mij voor. Veel van de problemen verschijnen zo als problemen van de leraar. Destijds heb ik met leerlingen vaak gesproken over de gebruikte onderwijsgang: zij vonden in meerderheid dat zij niet wisten waarmee zij eigenlijk bezig waren: er waren voor hen geen ankerpunten. Ze zagen door de bomen het bos niet. Anders gezegd: ze kregen geen overzicht. Ze hadden het gevoel te zwemmen in een zee zonder oevers.*”

Ik kan deze constatering overigens uit eigen ervaring (!) bevestigen. Het geeft precies mijn gevoel weer tijdens die VF-onderzoeksbesprekingen (zie hoofdstuk 1) die geleid werden door WEI-aanhangers en gewijd waren aan hun werk. Vanuit het dogma ‘practice what you preach’, moesten we opdrachten uitvoeren die bedoeld waren om ons eerst ervaring te laten opdoen, om er daarna over te kunnen spreken. Vaak riep dat irritatie op bij de deelnemers, omdat hen de reden daarvoor niet duidelijk was. Waarom vertel je gewoon niet even waar het om gaat? Waarom moeten we dit eigenlijk doen?

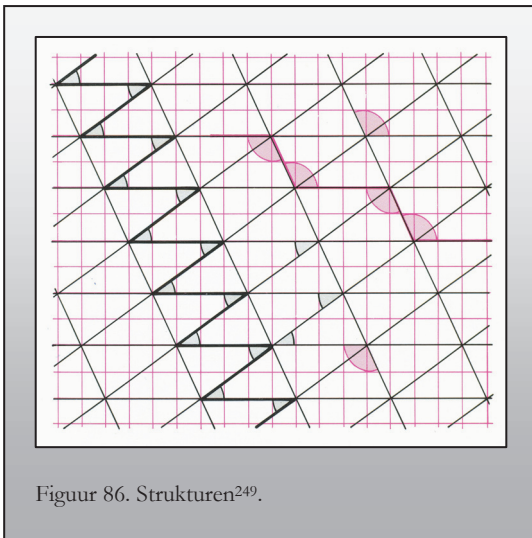
Overigens is het frappant dat we nu voor de tweede keer, zij het in een heel ander verband, dezelfde onderwijskritiek tegenkomen. Ging het eerst om ‘reizen in een geblindeerde trein’, als kritiek op ‘traditioneel’ onderwijs, nu gaat het om ‘zwemmen in een zee zonder oevers’ als kritiek op de uitwerking van een radicaal andere onderwijsopvatting. Ik weet niet wat erger is, maar kennelijk wordt er in beide situaties iets heel essentieels vergeten. Ik kom daar nog op terug. Klaassen gaat zelfs zover te veronderstellen dat wanneer dat niet het geval zou zijn, dat wil zeggen als leerlingen wel zouden weten wat ze waarom aan het doen zijn, en waar ze naar op weg zijn, de geconstateerde kloven van onverstaaenbaarheid veel minder groot zouden zijn dan gedacht. Zelfs zoveel minder dat een niveaustheorie niet meer voor de hand zou liggen. Voordat we dit concluderen, lijkt het me goed toch wat nader in te gaan op de vraag of deze ni-

²⁴⁸ M. Vogelesang (1990). *Een onverdeelbare eenheid*. Utrecht: CD-β Press.

veatheorie, gegeven dat zij pretendeert te relateren aan de vakstructuur, iets aan de didactiek van de natuurkunde zou kunnen bijdragen.

9.1.2 Ook natuurkundige Van Hiele niveaus?

Laten we daartoe eerst teruggaan naar de bron. Van Hiele²⁴⁹, die het heeft over nulde (of ook wel visuele), eerste en tweede niveau²⁵⁰, schrijft als volgt (figuur 86): “*Terwijl op het nulde nivo de taal slechts dient om over waargenomen structuren met anderen te kunnen spreken en het eigen denken over de structuren te steunen, komt op het eerste nivo de aard van de structuur zelf aan de orde. Op het nulde nivo worden er in de driehoeksstructuur zagen, evenwijdige lijnen, gelijke hoeken, enz. waargenomen. Door het denken met deze woorden wordt het waarnemen in de structuur versterkt. Op het eerste nivo wordt het verband tussen evenwijdige lijnen en gelijke hoeken bespreekbaar gemaakt. In het driehoekspatroon komen gelijkvormige driehoeken voor. Men gaat zich*



Figuur 86. Structuren²⁴⁹.

afvragen hoe men in het algemeen gelijkvormige driehoeken moet omschrijven en wat er voor nodig is om te kunnen besluiten dat twee driehoeken gelijkvormig zijn. Dit zijn vragen waarvan het antwoord niet direct uit de figuur kan worden afgelezen en waarvoor de taal die in het nulde niveau is ontwikkeld onontbeerlijk is. Maar de discussie over deze onderwerpen vereist een taal die tot het eerste nivo behoort. Bij die taalontwikkeling op het eerste nivo wordt verondersteld, dat de taal van het nulde nivo al ter beschikking is. In veel gevallen is het nodig een taal op het tweede nivo te onderscheiden. In deze taal houdt men zich bezig met oordelen over de structuur die op het eerste nivo is ontstaan.

Die taal heeft een hogere abstractie, omdat hij betrekking heeft op een structuur die zelf abstract is, dat wil zeggen niet direct zonder taal waarneembaar is.” Bijvoorbeeld, in het laatste geval kan men zich bezig houden met alle afbeeldingen waarvan origineel en beeld gelijkvormig zijn, om de eigenschappen van zulke afbeeldingen te onderzoeken. Eerlijk gezegd, het is nog niet zo gemakkelijk om te begrijpen wat hier nu precies mee bedoeld wordt, met name voor wat betreft het begrip structuur. En valt taalontwikkeling hier nu samen met begripsontwikkeling? Wel is een duidelijk kenmerk dat het lagere niveau steeds onderwerp van onderzoek is op het hogere niveau. En nu al kun je de vraag stellen waarom deze niveaustructuur eigenlijk beperkt is tot drie.²⁵¹

²⁴⁹ P.M. van Hiele (1981). *Structuur*. Purmerend: Muusses.

²⁵⁰ Die hij nadrukkelijk onderscheidt van de Piaget-niveaus, omdat zijn niveauontwikkeling niet het gevolg is van leeftijd en rijping, maar van een leerproces.

²⁵¹ Overigens zijn deze niveaus eigenlijk iets heel gewoons. Net zoals het in het dagelijks leven soms nuttig is onderscheid te maken tussen het weergegeven *van* iets (mening, gebeurtenis), en een oordeel geven

Welnu, hoe heeft dit nu zijn transfer gevonden naar de scheikunde? Volgens Van Hiele duurt het enige maanden voor leerlingen, uitgaande van geknipte en getekende driehoeken, ruiten, etc. komen tot uitspraken over 'de' driehoek, of 'de' ruit die niet meer getekend kunnen worden. Zoals meetkundige figuren als begrippen (relatienet op het eerste niveau, door de WEI beschrijvend niveau genoemd) geleidelijk moeten ontstaan voor de leerling, zo moeten ook 'chemische stoffen' door leerlingen eerst worden ontdekt in een moeizaam leerproces. En dat is bepaald niet gebruikelijk. Immers, meestal wordt verondersteld dat het daarvoor voldoende is leerlingen intentioneel te richten op 'chemische verschijnselen', dat wil zeggen dat er van wordt uitgegaan dat chemische verschijnselen zich fenomenologisch net zo voordoen aan de leerlingen als aan de docent. Dit noemt Ten Voorde een twee-lagen-schema. Maar als we, zoals hij doet, de corpusculaire modelverklaring zien als theoretisch niveau, dat wil zeggen als corresponderend met het tweede Van Hiele niveau, dan moet het daarop gerichte leerproces beginnen in het beschrijvende niveau (eerste Van Hiele niveau). En dit niveau kan alleen bereikt worden door een niveauperhogend leerproces, uitgaande van een nulde niveau of leefwereldniveau. Anders gezegd, dan is er feitelijk sprake van een drie-lagen-schema.

Tot zover de voorbereiding op de vraag of we hier natuurkundig 'ook iets mee kunnen'. Allereerst is er de herkenning van dezelfde problematiek. Opnieuw terugrijpend op 'Natuurkunde op corpusculaire grondslag', kunnen we nu zeggen dat we daarin, ten aanzien van de structuur der materie, eenzelfde twee-lagen-schema aan het werk zien, vanuit de veronderstelling dat een korte introducerende vraag voldoende is om leerlingen zodanig intentioneel te richten, dat ze, vanaf het begin, als fysicus gaan kijken naar verschijnselen. En zoals al een aantal keren gezegd, hoofdstuk 8 beschrijft uitgebreid wat het gevolg is van onderwijs dat, ten onrechte, op die veronderstelling gebaseerd is. Ook in de natuurkunde moeten we uitgaan van de leefwereld. Betekent dat dus ook steeds een drie-lagen-schema? Ja en nee, volgens mij. Dat ligt toch wat genuanceerder, zoals ik nu wil verduidelijken.

Neem bijvoorbeeld de mechanica, met in het bijzonder het krachtbegrip. In de leefwereld hebben we onze ervaringen met 'krachten' en bewegingen, die we verwoorden in leefwereldtaal. Het gaat daarbij om wat je langdurige, onbereflecteerde, directe ervaring zou kunnen noemen, resulterend in 'een intuïtief zeker weten dat iets zó is en niet anders'. De begrippen en objecten van de leefwereld zijn nog niet die van de natuurkunde, alhoewel ze er wel de basis voor vormen. Door fenomenologische exploratie²⁵², aandachtselectie en geschikte problematisering, moet de behoefte opgeroepen worden om een andere vorm van beschrijving te ontwikkelen. Een eerste blikwisseling. De docent weet dat het zal gaan om een natuurkundige beschrijving, voor de leerling moet de inhoud van die benoeming nog ontstaan. Het oproepen van zo'n

over iets. Alleen gebeurt dit dan meestal in dezelfde spreektaal. Filosofen spreken trouwens over taal, meta-taal, meta-meta-taal, etc.

²⁵² Zo'n fenomenologische exploratie is bepaald niet gebruikelijk. Als er al aandacht aan besteed wordt, gaat het meestal om fenomenen uit de 'aardse' leefwereld, met als logisch vervolg een empirische aanpak. Klaassen²¹⁵ (zie ook verder) heeft laten zien dat een exploratie van 'hemelse' fenomenen voordelen kan hebben voor een introductie tot de mechanica.

behoefte is bepaald niet eenvoudig, je zou het zelfs een didactisch kernprobleem kunnen noemen. Het optreden van een doorleefde welles-nietes situatie, als tussen Jet en haar leraar, is een voorbeeld van een (toevallig optredende) situatie die als zodanig uitgebouwd kan worden. Als we nu kiezen voor een empirische aanpak, dan kan een operationele definitie een noodzakelijke brugfunctie gaan vervullen tussen leefwereld en natuurkunde. En kunnen we op weg gaan naar de vulling van een beschrijvend mechanica-niveau. Bijvoorbeeld, we spreken af dat als de werking van iets of iemand leidt tot de uitrekking of indrukking van een veer, dat iets of iemand dan een kracht uitoefent op die veer. Met deze afspraak, die voor ieder acceptabel moet zijn, kunnen we, door gedisciplineerd gebruik van deze definitie, relevante situaties gaan onderzoeken. Uitmondend in een kwantitatief experiment (hetzij met trolleys en tickertape, hetzij met datalogger en videometing) waaruit we, op grond van de meetgegevens, kunnen concluderen dat er kennelijk een regelmatigheid geldt van de vorm $F = ma$, waarbij F nu nog staat voor de uitgeoefende veerkracht. In dit stadium niet meer (en minder) dan een singuliere, nog situatiegebonden, empirische, beschrijvende relatie. Weliswaar geformuleerd op grond van een (geleide) ervaring, maar, voor leerlingen, ongetwijfeld nog zonder de emotionele zekerheid van ‘directe’ ervaring. Daarvoor zou het nodig zijn dat de relatie een antwoord geeft op een als authentiek ervaren probleem. De relatie moet nu versterkt worden in en uitgebreid tot andere situaties, met andere objecten en andere krachten (duwen, trekken, gewicht, gravitatie), zodat gesproken kan gaan worden van een ggeneraliseerde empirische relatie. Ingebed in een zich uitbreidend netwerk van begrippen en relaties, dat wil zeggen van een geleidelijk aan ontstaand beschrijvend mechanica-niveau. Om uiteindelijk, via een inductieve sprong, de status te kunnen krijgen van universeel geldige relatie. En als de rol van deze relatie belangrijk genoeg blijkt te zijn, noemen we haar een wet, of soms zelfs een principe. (Daarover zijn de wetenschapsfilosofen het, met betrekking tot $F = ma$, niet eens.) Dit vraagt opnieuw om een blikwisseling. In plaats van $F = ma$ als *conclusie van* een redenering, wordt de relatie nu *uitgangspunt voor* een redenering. Niet langer resulteert een analyse van de situatie in een bevestiging van deze relatie, de wetmatigheid staat nu aan de wortel van de analyse. De wet is immers van toepassing op alle bewegingssituaties, zodat we op grond daarvan nu krachtwerking kunnen identificeren. Vogelezang²⁴⁸ spreekt in dit verband van een overkoepelende structuur. De operationele definitie heeft zijn werk gedaan, nu wordt de wet definiërend voor krachtwerking, zoals bijvoorbeeld in de beschrijving van heel ander gebied van verschijnselen als het elektromagnetisme. Een voorbeeld, lijkt me, van niveau-invariante contextwisseling. Er vindt nu ook verdergaande mathematisering plaats. Een kracht op een object kan, als de situatie dat vraagt, ook geschreven worden als de tijdsafgeleide van de impuls, of als de gradiënt van de potentiaal. Dit zijn aanzetten tot de overgang naar wat ik, in analogie, een theoretisch²⁵³ mechanica-niveau zou willen noemen. De mechanica volgens Hamilton en Lagrange, uitgaand van het principe van kleinste werking. Maar

²⁵³ Vogelezang²⁴⁸ spreekt over beschouwend niveau, in plaats van over theoretisch niveau. Dit om verwarring tussen het begrip theoretisch niveau en het begrip natuurwetenschappelijke (verklarende?) theorie te voorkomen. Daarom is ook de term ‘beschrijvend’ niveau niet onproblematisch, vanwege eenzelfde verwarring tussen beschrijving en beschrijvende theorie. Eigenlijk lijkt me een neutrale telling van niveaus, wat naamgeving betreft, nog het beste.

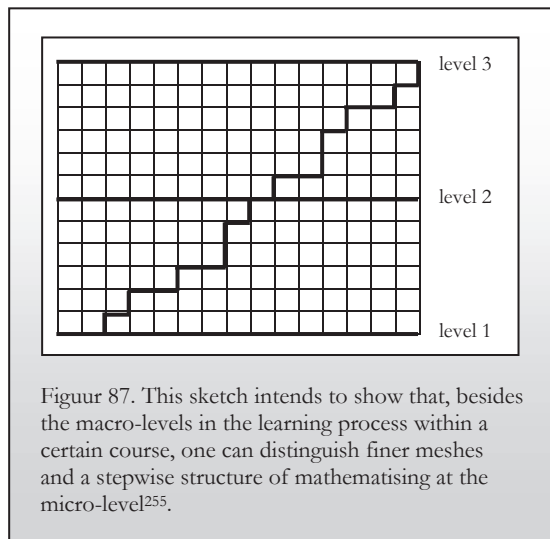
daarmee overschrijden we de grenzen van de schoolmechanica, die dus, moeten we concluderen, slechts gebaseerd is op een twee-lagen schema. Voor het onderwerp structuur der materie is echter wel sprake van een drie-lagen-schema. En daaruit blijkt dat het antwoord op de vraag naar 'waarom drie' kennelijk gerelateerd is aan het bereik van de schoolnatuurkunde en zelfs nog kan verschillen per natuurkundig deelgebied. Wetenschappelijk gezien kunnen we de klassieke natuurkunde als voorbereidend zien voor bijvoorbeeld de quantumfysica. Dan is dus sprake van een nieuwe niveauverhoging, waarvoor je de klassieke fysica als gereduceerd beschrijvend niveau kunt opvatten. Dus voor zover er op school inderdaad sprake kan zijn van quantumfysica (met bijvoorbeeld krachtwerking als de uitwisseling van bosonen), is er ook sprake van een vierde niveau. Door op deze manier alle gebieden van de schoolnatuurkunde in relatie tot elkaar niveaugewijs te doordenken, zouden we daarvan een didactische structuur kunnen ontwerpen. Op zich zou dit een goede zaak zijn, al was het alleen maar omdat zo'n analyse je dwingt om zeer zorgvuldig na te denken over de begripstappen die nodig zijn bij het leren van natuurkunde. Zo worden in de leerboeken de meeste stappen die ik hiervoor heb geëxpliciteerd, eenvoudigweg genegeerd. Het gevolg daarvan is niet alleen dat leerlingen de noodzakelijke gedachtegang vaak niet zullen kunnen volgen, maar ook dat ze een sterk 'verfeitelijk' beeld zullen krijgen van natuurkundige kennis. Het ontstaansproces blijft immers verborgen.

Opgevat zoals beschreven, weerspiegelen deze niveaus dus de theoretische gelaagdheid van de natuurkunde. Steeds doet zich in de voortgang van de natuurkunde de vraag voor naar een dieper begrijpen. Naar unificering en diepere verklaring. Steeds roepen de 'verschijnselen' en hun beschrijvingen op een bepaald niveau de vraag op naar waarom ze zijn zoals ze zijn. Dit betekent dus ook dat deze voortgang steeds gedreven wordt doordat de kennis van een bepaald niveau geproblematiseerd wordt, terwijl ze nodig is en blijft om de zinvolheid van het hogere niveau te kunnen begrijpen. Het lagere niveau is voorbereidend voor het hogere, net zoals het hogere voorbereid is door het lagere, ze kunnen niet zonder elkaar. In mijn opvatting proberen de Van Hiele niveaus niet anders dan deze structuur vanuit een didactisch bruikbare optiek uit te werken. Tegenwoordig wordt in plaats van over theorievorming vaak gesproken over modelvorming. Hierbij aansluitend beschrijft Gravemeijer²⁵⁴ hoe in het leren van wiskunde sprake is van een opeenvolging van modellen, waarbij een 'model van' wordt tot 'model voor' in een proces van voortgaande mathematisering. Treffers²⁵⁵ beschrijft hoe in zijn opvatting de Van Hiele niveaus weliswaar bruikbaar zijn voor de lange termijn uitlijning van een cursus voor realistisch wiskundeonderwijs, maar dat het daarbinnen adequater is om elk niveau op te vatten als bestaande uit een veelheid van kleinere stappen. Dit is niet strijdig met elkaar omdat het enerzijds gaat om een didactische doordenking van niveaus in de vakstructuur (en de bijbehorende macro-onderwijsuitlijning) en anderzijds om niveaustappen in het leren van die vakstructuur (de microstructuur van het leerproces). Figuur 87 illustreert dat als je vanuit het leerproces kijkt naar begripontwikkeling, er voortdurend sprake is van 'constructieve

²⁵⁴ K.P.E. Gravemeijer (1994). *Developing Realistic Mathematics Education*. Utrecht: CD-β Press.

²⁵⁵ A. Treffers (1987). *Three Dimensions*. Dordrecht: Reidel.

sprongen’ die de leerling zelf moet maken. Ofwel, opnieuw, een ‘Kontinuität von Diskontinuitäten’. Deze sprongen gaan gepaard met blik- en/of contextwisselingen en met taalontwikkeling. Als motor voor dit proces noemt Freudenthal⁶⁸ het belang van reflectie.



“When I hit on reflection as the thing responsible for the jumps in the learning process, the road was prepared for as many discontinuities and levels in a multitude of learning processes as there are significant occurrences of reflection. These, then, rather than three or four levels, were what I began to observe as levels in the learning process.” Dat klinkt bijna paradoxaal, dat de motor voor inventie, voor het bedenken en begrijpen van iets nieuws, ligt in reflectie op je eigen denkproces, op hoe je worstelt met wat je al denkt te weten en op hoe dat toch niet voldoet om een probleem op te lossen, zodat er

vanuit het bekende iets nieuws, soms zelfs een ander perspectief, bedacht moet worden dat dat wel kan.

Het zijn deze opvattingen waar ik, gezien de uitgebreidheid van een macroniveau, en de binnen zo’n niveau noodzakelijke microstappen, blik- en contextwisselingen, volledig mee kan instemmen. Het denken in begripsniveaus helpt je verder, maar het moet wel flexibel en genuanceerd gebruikt worden.

En daarmee zijn we aangekomen bij een tweede belangrijke bètadidactische ontwikkeling in ons land, die van het realistisch reken- en wiskundeonderwijs.

9.2 Realistisch reken- en wiskundeonderwijs

9.2.1 Korte historie

In 1961 werd de Commissie Modernisering Leerplan Wiskunde (CMLW) ingesteld door de minister. Deze commissie oriënteerde zich op de toen internationaal gangbare vernieuwingstendenzen, onder andere op de ‘New Math’ zoals die in veel landen werd gepropageerd. Een top-down modernisering die gebaseerd was op het vertalen van de fundamentele structuur van de wiskunde naar de school. Begrijpelijkerwijs, een benadering die sterke aanhang had onder academische wiskundigen. In ons land was het echter Freudenthal die het voortouw nam in het verzet tegen deze benadering. Volgens hem een volstrekt verkeerde aanpak. Het moest heel anders en om dat andere uit te werken moest veel werk worden verzet. En zo werd in 1971 het IOWO opgericht, het Instituut voor Ontwikkeling van Wiskunde Onderwijs. Een benaming waarin,

door het verzet van Freudenthal, het woord curriculum niet voorkwam, omdat naar zijn idee onderwijsontwikkeling veel meer moet inhouden dan curriculumontwikkeling.

De juistheid van die opvatting bleek al snel in het WISKOBAS-project. Daarin werd, in samenwerking met ontwikkelscholen (waarop ontwikkelaars vaak zelf hun producten konden onderwijzen), geleidelijk aan een nieuwe visie op wiskundeonderwijs ontwikkeld, mede gebaseerd op de observatie van leerprocessen, bijbehorende intensieve scholing van leerkrachten, en intensieve evaluatie. Een uiterst succesvolle aanpak, die ook internationaal al snel de aandacht trok, uiteraard mede door de uitstraling van een 'big shot' als Freudenthal toen was. Zo ontstond het 'realistisch reken- en wiskundeonderwijs'. In de loop der jaren die zouden volgen heeft dit concept zich, in meer of minder zuivere vorm, uitgebreid tot alle takken van ons onderwijs. De realistische aanpak heeft, met name op de basisschool, grote invloed gehad. De laatste jaren is er echter sprake van duidelijke tegenwind, zelfs zodanig dat gesproken wordt van de afbraak van het rekenonderwijs die te wijten (of te danken) zou zijn aan het monopolie van de 'verhaaltjessommen', waardoor leerlingen geen fatsoenlijke staartdeling meer kunnen maken!

De eerste tegenwind kwam echter al veel eerder, toen dankzij de verzorgingsstructuur (zie hoofdstuk 1) het IOWO moest ophouden te bestaan. Aan de Universiteit van Utrecht mocht alleen een kleine groep blijven doorgaan met onderzoek, onder de naam OW&OC (vakgroep Ontwikkeling Wiskundeonderwijs en Onderwijs Computercentrum). Het tekent de inventiviteit van deze groep dat ze, onder de term 'ontwikkelingsonderzoek', al snel grotendeels door konden gaan op de oude weg en hun werk zelfs konden uitbreiden naar nog andere schooltypen. Na de dood van Freudenthal, in 1990, werd de naam veranderd in 'Freudenthal Instituut', wat zeker heeft bijgedragen aan een nog grotere landelijke en internationale bekendheid. Maar uiteindelijk draait het natuurlijk niet om de naam, maar om het product. Waardoor kenmerkt realistisch reken- en wiskundeonderwijs zich dan?

9.2.2 De visie

Treffers²⁵⁵ wijst op het fundamentele belang van een visie (of basisconceptie) op het vak en op vakonderwijs voor de constructie van onderwijs in dat vak. Als voorbeeld noemt hij de basisconceptie waarin wiskunde wordt gezien als 'een menselijke activiteit', in plaats van de basisconceptie die uitgaat van wiskunde als een uit de vakwetenschap afgeleide, afgeronde formele structuur, die vervolgens in het onderwijs moet worden overgedragen. De eerste basisconceptie ligt ten grondslag aan de ontwikkeling van 'realistisch wiskundeonderwijs'. Als kernpunten voor de constructie van realistisch onderwijs noemt hij verder²⁵⁵:

- *paying much attention to 're-invention', that is recreating mathematical concepts and structures on the basis of intuitive notions in the making or made ('active');*
- *carrying on at various levels of concreteness and abstraction ('differentiated');*
- *the programming of the instruction is guided by the historical-genetic rather than the subject matter systematic method ('vertically planned');*
- *reality bound, meaningful ('and mathematically rich') instruction.*

Deze kernpunten weerspiegelen vooral een visie op het ‘ideale’ leer- en onderwijsproces. Dit proces moet, startend in de realiteit van de leerlingen, hen als het ware analoge aan de (gladgestreken) historische gang van de wiskunde, de te leren handelingen en concepten laten her-uitvinden. De veronderstelling is dat dit ook kan, en Freudenthal⁶⁸ benadrukt daarom telkens weer dat wiskunde op vele tijden en plaatsen is ‘uitgevonden’, zodat er als het ware sprake lijkt te zijn van een welhaast natuurlijke ontwikkeling. Hierin zou wiskunde zich ook duidelijk onderscheiden van de natuurwetenschappen. Deze wiskunde-ontwikkeling kan en dient in het onderwijs tot uitgangspunt te worden genomen, onder andere door doordacht aan te sluiten bij de ‘eigen producties en constructies’ van leerlingen. En dat laatste zou in de natuurwetenschappen dus juist tot problemen kunnen leiden.

De Van Hiele niveaus worden, zoals beschreven, gebruikt voor de macro-uitlijning van het curriculum. Van Hiele’s onderwijsfasen worden echter als onvoldoende didactisch uitgewerkt beschouwd om richtinggevend te kunnen zijn voor het bewerkstelligen van niveauverhogingen. Deze worden daarom vervangen (of genuanceerd?) door het principe van (horizontale en verticale²⁵⁶) progressieve mathematisering, volgens vijf instructieprincipes.

1 ‘Phenomenological exploration by means of contexts’ – Deze uitgebreide exploratie, gebaseerd op Freudenthal’s ‘Didactische Fenomenologie’²⁵⁷, dient ter invulling van het eerste niveau. *“The aim is to acquire a rich collection of intuitive notions in which the essential aspects of concepts and structures are preformed. This, then, is laying the basis for concept formation.”*

2 ‘Bridging by vertical instruments’ – *“From the very start, in elementary problem situations, a variety of ‘vertical’ instruments such as models, schemas, diagrams and symbols are offered, explored and developed. This is done with the intention of helping to bridge the level difference between the intuitive, informal, context bound operating at the first level and the reflective formal systematic one on the third.”*

3 ‘Self-reliance: pupils’ own constructions and productions’ – Hier beschrijft Treffers zijn constructivistische uitgangspunt, *“which means that a decisive influence comes from the pupils’ own constructions and productions in the learning process.”*

4 ‘Interactive instruction’ – Hiermee wordt het belang benadrukt van een interactief leerproces tussen zowel leerlingen onderling als met de docent. In discussies moet ruimte zijn voor de inbreng van verschillende eigen constructies, zodat als het ware onderhandeld kan worden over hun voor- en nadelen, om van daaruit te komen tot een voortgang in begripsvorming.

5 ‘Intertwining of learning strands; the broader connection’ – Vanwege de rijke inbedding van concepten en structuren op het fenomenologische niveau, leidt progressief mathematiseren onvermijdelijk tot vervlechting. *“When outlining a course one should be fully aware of the global connection of the various domains, the intertwining of learning strands.”*

Tot zover in het kort de hoofdlijnen van Treffers’ “framework for instruction theory”.

²⁵⁶ *“We distinguish horizontal and vertical mathematisation in order to account for the difference between transforming a problem field into a mathematical problem on the one hand, and processing within the mathematical system on the other hand.”*

²⁵⁷ H. Freudenthal (1983). *Didactical Phenomenology of Mathematical Structures*. Dordrecht: Reidel.

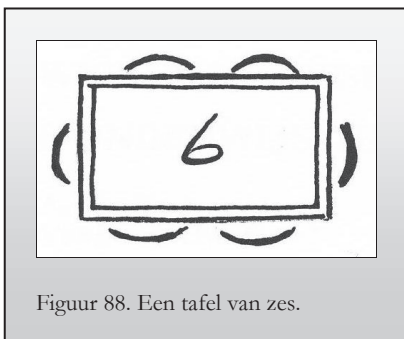
Alvorens hier nog wat verder op in te gaan, eerst ter toelichting een voorbeeld van de concrete uitwerking van deze gedachten.

9.2.3 Voorbeeld van een realistische leergang

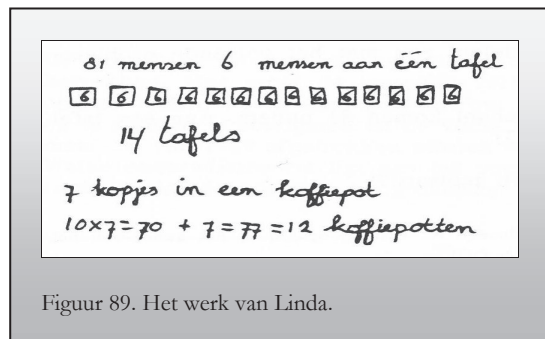
Een realistische leergang ‘staartdelen’²⁵⁸ zou met het volgende probleem kunnen starten: ‘Op een ouderavond van de school komen 81 ouders. Aan één tafel kunnen zes ouders zitten (figuur 88). Hoeveel tafels moeten er worden geplaatst?’

De oplossingsmethoden uit één klas van zeventien leerlingen uit groep 5 blijken de volgende:

- Zeven leerlingen tellen herhaald op: ‘6 + 6 + 6 + 6...’ of ‘6, 12, 18...’ of lopen de tafelryf af: ‘1 × 6; 2 × 6; 3 × 6...’
- Zes leerlingen rekenen verkort; ze nemen eerst 10 × 6 en rekenen vanaf zestig verder, soms via optellen, soms via vermenigvuldigen.
- Eén leerling weet 6 × 6 = 36, verdubbelt: 12 × 6 = 72 en plaatst dan nog twee tafels bij.
- Van drie leerlingen is niet te achterhalen hoe ze hebben gerekend.



Figuur 88. Een tafel van zes.



Figuur 89. Het werk van Linda.

In de nabespreking brengt de onderwijsgevende de drie genoemde oplossingen naar voren. De kinderen stellen daarbij zelf vast dat de tien-keer-methode heel handig is.

Het tweede deel van de les is aan een soortgelijk probleem gewijd: ‘Hoeveel potten koffie moeten er voor de ouders worden gezet? In één koffiepote zitten zeven kopjes koffie, en iedere ouder krijgt één kopje.’

Wat hebben de kinderen in het eerste deel van de les opgestoken; gaan ze handig rekenen? Dat blijkt inderdaad het geval te zijn.

- De stap-voor-stap manier wordt nog maar door één leerling gevolgd (eerst waren er zeven).
- Dertien leerlingen rekenen nu met een hap van tien, $10 \times 7 = 70$ (eerder waren dat er zes).
- Geen leerling gaat uit van 7×7 (was er één).

²⁵⁸ Ontleend aan A. Treffers (1990). *Wiskunde-onderwijstheorie of β -onderwijstheorie?* In: P.L. Lijnse & W. de Vos (Red.), *Didactiek in Perspectief*. Utrecht: CD- β Press.

- En ook nu kan van drie leerlingen niet worden achterhaald hoe ze werkten.

6/81\		
60		10 tafels
21		
18		3 tafels
3		
3		1 tafel
0		
		14 tafels

Figuur 90. Staartdelings-
schema.

36/1128\		35/1128\		36/1128\	
<u>360</u>	10 bussen	<u>720</u>	20	<u>1080</u>	30
768		408		48	
<u>360</u>	10 bussen	<u>360</u>	10	<u>36</u>	1
408		48		12	
<u>360</u>	10 bussen	<u>36</u>	1		
48		12			
<u>36</u>	1 bus				
12					
(a)		(b)		(c)	

Figuur 91. Oplossingsniveaus bij 1128 : 36.

De aanzienlijke verschuiving naar de tien-strategie komt onder meer in het werk van Linda tot uitdrukking (figuur 89). In een volgende fase wordt het staartdelingschema (figuur 90) geïntroduceerd. Dit schema is uiteraard niet alleen bruikbaar voor opdelen, maar ook voor verdelen. Bijvoorbeeld voor het eerlijk verdelen van 81 objecten over zes personen. Alleen staat dan in plaats van ‘tafels’ de aanduiding ‘per persoon’. En... het antwoord is nu anders. Afhankelijk van de context kan het 13 of 13½ zijn, of nog iets anders.

In een wat latere fase wordt met nog grotere getallen gewerkt: ‘*Er worden 1128 soldaten vervoerd in bussen met 36 zitplaatsen. Hoeveel bussen zijn nodig?*’

Differentiatie in de oplossingsmethoden treedt nu op (figuur 91). In deze oplossingen tekent zich het abc van de hele leergang af. Weliswaar is het de bedoeling dat alle leerlingen niveau c bereiken. Alleen komt de ene leerling sneller tot de verkorte rekenwijze dan de andere. Maar zelfs als een kind op niveau b of a blijft steken kan het per saldo een staartdeling maken. Uiteraard wordt in deze leergang ook met kale delingsopgaven geoefend. Maar zo’n bussenprobleem blijft dan nog wel voortdurend op de achtergrond staan. Al rekenend kunnen kinderen zich een dergelijke vervoerssituatie voor ogen stellen. Daarmee verkrijgen de procedurehandelingen als het ware een concrete ondergrond, en controle op en sturing van het rekenwerk blijft mogelijk. Ook worden kinderen in de gelegenheid gesteld zelf opgaven te bedenken: kale sommen maar ook toepassingsopgaven. Op het allerhoogste niveau kan tenslotte de structuur van de staartdeling zelf tot onderwerp van onderzoek worden gemaakt. Een voorbeeld: ‘*Bereken 1128:36 met behulp van de rekenmachine en vervolgens het restgetal van de staart.*’ Om een dergelijke opdracht te kunnen oplossen moet de structuur van het staartdelingschema worden ontleed, hetgeen niet voor alle leerlingen haalbaar zal zijn. Wat echter wel haalbaar blijkt, is het leren uitvoeren van de staartdelingsprocedure in één of andere vorm van verkorting, en daar gaat het allereerst om.

Tot zover Treffers over een concreet voorbeeld van een realistische leergang. Natuurlijk valt daar nog veel meer over te zeggen, maar ik hoop dat dit voorbeeld een aantal zaken uit de beschreven visie heeft toegelicht en geconcretiseerd. Zo zien we hoe de

exploratie van een context leidt tot eigen constructies, die via onderlinge uitwisseling productief gebruikt kunnen worden in een proces van heruitvinden van ‘de’ staartdeling. Een schitterend voorbeeld van een, theoretisch ondersteunde, geslaagde didactiek zou je zeggen. Maar dat blijkt toch wat genuanceerder te liggen. In de loop der jaren is de realistische rekendidactiek het rekenen in ons land volledig gaan bepalen. Zo had in 2004 praktisch honderd procent van de gebruikte rekenmethoden een realistisch stempel. Een schoolvoorbeeld van een geslaagde implementatie zou je zeggen, ook al waren er nog grote verschillen in de manier waarop het realisme was uitgewerkt. Nog afgezien van de eigen interpretaties van de leraren. Sindsdien is er echter een sterke tegenbeweging op gang gekomen, die zich is gaan verzetten tegen de ‘verloedering’ van het rekenonderwijs in ons land en terug wil naar goede ouderwetse algoritmische rekenmethoden²⁵⁹. Deze strijd liep zelfs zo hoog op dat de KNAW zich genoodzaakt heeft gezien een speciale commissie in het leven te roepen²⁶⁰, die zich moest buigen over de vraag of er wetenschappelijke evidentie beschikbaar was, op grond waarvan een uitspraak kon worden gedaan over de relatieve effectiviteit van beide didactieken. Deze commissie concludeerde onder andere *“Of kinderen nu realistisch leren rekenen of op een traditionele manier maakt geen verschil voor het rekenniveau. Er is geen aantoonbare relatie tussen de gebruikte didactiek en de rekenvaardigheid van kinderen op de basisschool. De interactie tussen leerling en leraar speelt een grotere rol dan de didactische uitgangspunten. Toch is er reden tot zorg, want het niveau van het rekenen daalt gestaag. De sleutel tot verbetering ligt volgens de KNAW bij de lerarenopleiding, waar het rekenonderwijs ernstig onder druk staat. Het ministerie van OCW zou het rekenonderwijs op de pabo’s én de (nu niet verplichte) nascholing van leraren op het terrein van rekenonderwijs grondig tegen het licht moeten houden.”*

Daarmee is de strijd uiteraard niet beslist. Deze gaat sindsdien in verhevigde mate door, en helaas niet altijd even subtiel en wetenschappelijk. Ik wil me nu echter richten op de vraag of deze realistische reken- en wiskundeaanpak ook iets te melden kan hebben voor het voortgezet natuurkundeonderwijs.

9.2.4 Realistisch natuurkundeonderwijs?

Is het voorgaande ook toepasbaar voor de didactiek van het voortgezet natuurkundeonderwijs? Deze zelfde vraag heb ik mezelf al eerder gesteld. Laten we daarom eerst nog eens kijken naar het toen gegeven antwoord, dat ik tegelijk zo nodig zal aanpassen aan de actualiteit van vandaag²⁶¹. Zo onderschreef en onderschrijf ik van harte het belang van een uitgewerkte visie op vak en vakonderwijs. Zowel de beschrijving van het WEI-werk, als eerder van het PLON, naast uiteraard het realistisch raamwerk zelf, zijn daarvan duidelijke illustraties.

Maar betekent dit nu ook dat het uitgangspunt ‘wiskunde als menselijke activiteit’ zonder meer vertaalbaar is naar een vak als natuurkunde? Daar zit toch een probleem. Het is ongetwijfeld waar dat natuurkunde als wetenschappelijke activiteit tegelijk een menselijke activiteit is, maar in hoeverre kan deze omschrijving ook reeds van toepas-

²⁵⁹ http://nl.wikipedia.org/wiki/Realistisch_rekenen; <http://staff.science.uva.nl/~craats/>

²⁶⁰ KNAW (2009). *Rekenonderwijs op de basisschool. Analyse en sleutels tot verbetering*. Alkmaar: Bejo druk&print.

²⁶¹ P.L. Lijnse (1990). Natuurkunde-didactiek vanuit β -didactisch perspectief. In: P.L. Lijnse & W. de Vos (Red.), *Didactiek in Perspectief*. Utrecht: CD- β Press.

sing zijn op de intuïtieve activiteiten van leerlingen? Het antwoord op deze vraag hangt samen met de geldigheid van het principe van ‘reinvention’. In het staartdelingsvoorbeeld zagen we hoe de eigen constructies van leerlingen inderdaad productief gebruikt konden worden bij het geleidelijk ‘heruitvinden’ van de delingsprocedure. Maar komt dat niet omdat hiervoor nog geen hoge mate van abstractie nodig is? En ligt dat bijvoorbeeld voor de wiskunde in het voortgezet onderwijs niet anders? Zodat we ons eerder daarop moeten richten, voor de vraag naar toepasbaarheid in de natuurkunde?

Een aantal jaren geleden was ik lid van een promotiecommissie van een onderzoek over de invoering van statistiekonderwijs op HAVO/VWO, dat uitgevoerd was in de traditie van het realistisch wiskundeonderwijs²⁶². Naar aanleiding daarvan heb ik me toen iets nader gebogen over het idee van ‘guided reinvention’²⁶³. Freudenthal⁶⁸ beschrijft hoe hij in de onderwijscontext koos voor de term ‘invention’. *“Inventions, as understood here, are steps in learning processes, which is accounted for by the ‘re’ in reinvention, while the instructional environment of the learning process is pointed to by the adjective ‘guided.’”* Als onderbouwing van zijn keuze voor ‘guided reinvention’ gaf Freudenthal vaak aan dat als hij zichzelf een nieuw wiskundig bewijs moest eigen maken, hij dat altijd eerst zelf probeerde te bedenken. In zijn laatste boek verruimt hij dit argument tot de uitspraak: *“If you ask mathematicians how they read papers, most of them will answer that they try to reinvent their contents,”* waar hij aan toevoegt: *“I believe the young learner may claim the same privilege.”* Dit lijkt me geen sterk argument. Zo het ten aanzien van wiskundigen al juist is, dan nog gaat het om mensen die niet alleen zeer capabel zijn ten aanzien van de uit te voeren taken, maar daartoe ook sterk *inhoudelijk gemotiveerd* zullen zijn en dus weten waarom ze in dat opzicht wat aan het doen zijn²⁶⁴. Maar hoe staat het wat dat betreft met al die ‘young learners’?

Een ander, sterker argument van Freudenthal voor ‘guided reinvention’ lijkt me het volgende: *“It is well-known that some children reinvent arithmetic on their own, to various degrees indeed which depends on the children’s individual characteristics as well as on their environment. Is it therefore too far-fetched to assume that, with some support, every normal child might be able to reinvent as much mathematics as needed in one’s future daily life?”* Dat dit ook mogelijk zou zijn, komt omdat wiskunde, volgens Freudenthal, ‘anders’ is, wat vooral zou blijken uit haar geschiedenis. Zo zegt hij in een interview (Trouw, 1987): *“De wiskunde, het rekenen, werd zo’n 5000 jaar geleden uitgevonden. Op vele plaatsen tegelijk, wat eerder, wat later. En wie die wiskunde heeft uitgevonden, of dat een genie is geweest of een doodgewone boer die zijn schapen moest tellen, dat weten we niet. De natuurkunde zoals we die nu kennen is pas 300 jaar oud. Zo lang heeft dat geduurd. En daar heb je een Archimedes voor nodig gehad, een Newton, noem ze maar op, we kennen alle namen van de mensen die die wetenschap hebben ontwikkeld. Met wiskunde is dat anders. Er zijn veel kinderen die zelf leren rekenen. Dat heruitvinden is typisch voor de wiskunde, je*

²⁶² A. Bakker (2004). *Design Research in Statistics Education*. Utrecht: CD-β Press.

²⁶³ P.L. Lijnse (2007). Over een probleemstellende benadering en ‘guided reinvention’. *Panama-Post*, 26, 3-11.

²⁶⁴ Als tegenargument zou ik ook nog kunnen geven dat ikzelf, alhoewel ik me geenszins wil vergelijken met Freudenthal, deze methode van kennisverwerving nooit gehanteerd heb. Sterker, het is me ook nooit opgevallen tijdens gezamenlijke ervaringen dat wiskundestudenten dit wel zouden doen.

kunt dat bij kinderen waarnemen. Bekijk je dat voor de natuurkunde, dan blijf je op een heel primitief niveau steken.”

Op grond hiervan kan de geschiedenis van de wiskunde dan ook een bron zijn voor de didactische vormgeving van het proces van ‘guided reinvention’. Over deze didactisering zegt Freudenthal overigens niet veel meer dan dat “*guiding means striking a delicate balance between the force of teaching and the freedom of learning.*”

In bovenstaand citaat wordt het begrip ‘reinvention’ door Freudenthal impliciet beperkt tot de wiskunde die men nodig heeft voor ‘one’s future daily life’. Het lijkt me dat deze beperking weinig aandacht heeft gekregen onder de aanhangers van het realistisch wiskundeonderwijs. Hoeveel is dat precies en waar ligt er dan een grens? Dat blijft onduidelijk, ook Freudenthal zelf is daarover weinig helder, maar het argument wordt in ieder geval geacht geldig te zijn voor het rekenen op de basisschool. Geldt het ook nog voor de wiskunde in het voortgezet onderwijs? Als we bijvoorbeeld kijken naar Freudenthal’s argument waarom ‘guided reinvention’ niet zou kunnen voor het leren van natuurkunde, geldt datzelfde argument dan niet net zo voor bijvoorbeeld de statistiek of de infinitesimaalrekening²⁶⁵? Daarvan weten we toch ook precies wie dat allemaal hebben bedacht? Met name ten aanzien van het laatste was dat niet overal op aarde, maar door twee mensen die we nog steeds met name kennen, namelijk Newton en Leibniz. Dus, hoe ‘anders’ is die wiskunde dan nog? Freudenthal schrijft hierover: “*Reinvention is here [calculus] a bigger problem than in the domains I have dealt with so far. Reinventing something that since Archimedes has waited for about two millennia to be invented the first time is not that easy. It requires stronger but nevertheless more subtle guidance.*”

In ieder geval erkent hij hier het door mij beschreven probleem, al is hij in zijn oplossing weinig consequent. Wat voor natuurkunde niet zou kunnen, vraagt nu alleen “*stronger and more subtle guidance.*” Daarmee wordt het probleem verschoven naar wat dat laatste dan wel zou kunnen inhouden. Als immers de ‘guidance’ te gedetailleerd wordt uitgewerkt, bijvoorbeeld in sterk sturende op elkaar voortbouwende opdrachten, wordt, naar mijn oordeel, het idee van ‘reinvention’ ernstig uitgehold tot iets onherkenbaars. Dat is precies de reden waarom voor mij, bij de bestudering van veel onderwijsmateriaal, het begrip ‘guided reinvention’ tot iets nietszeggends wordt gereduceerd. Voor leerlingen is ‘guided reinvention’ dan immers niet anders dan het geven van de gewenste antwoorden op de gestelde opdrachten, zonder dat ze weten waartoe die opdrachten en antwoorden moeten dienen. Ook al wordt dan nog steeds niet ‘mathematics as a ready-made system’ onderwezen, het idee van ‘mathematics as a human activity’ krijgt dan toch wel een zeer magere invulling. Ik neig derhalve naar de conclusie dat het begrip ‘guided reinvention’, in ieder geval in zijn concrete uitwerking, geleidelijk een andere inhoud krijgt naarmate de complexiteit van de te leren wiskunde toeneemt. Ofwel, voor het leren rekenen op de basisschool ligt dit anders dan voor het leren van wiskunde in de bovenbouw VWO. Toch kom ik deze nuancering en specificering niet tegen in de gangbare theorie van het realistisch wiskundeonderwijs.

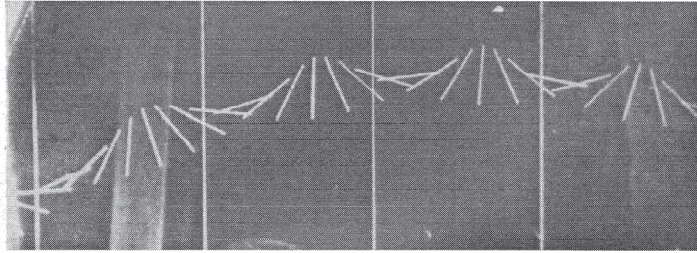
Er is nog een probleem met veel realistisch wiskundeonderwijs. Zo heeft Bakker een lessenserie ontworpen over statistiek, bestaande uit een aantal heel interessante leer-

²⁶⁵ L.M. Doorman (2005). *Modelling Motion: From Trace Graphs to Instantaneous Change*. Utrecht: CD-β Press.

lingactiviteiten. Elke activiteit is gericht op het geleid heruitvinden van een belangrijk concept uit de statistiek. Echter, als we nu kijken naar de lijst van activiteiten, dan doet zich de vraag voor: wat is, vanuit het standpunt van de leerling, de samenhang hierin? De leerling wordt geconfronteerd met een verzameling onsamenhangende contexten, waarin de samenhang gegeven wordt door de nog te leren statistiekbegrippen. Dat laatste moge duidelijk zijn voor de ontwerper en de docent, voor de leerling kán die conceptuele samenhang hooguit achteraf duidelijk zijn, maar niet voorafgaand aan en tijdens het leerproces als inhoudelijke rode draad functioneren. De oorzaak hiervan ligt, mijns inziens, in het feit dat door de ontwerper gekozen is voor een veelheid van kleine, niet met elkaar samenhangende contexten. De samenhang kan dan dus alleen gegeven worden door de wiskunde waarmee deze contexten gemathematiseerd worden, maar zoals gezegd, dat kan alleen achteraf. Het werk van Bakker is, naar mijn oordeel, in dit opzicht representatief voor veel lesmateriaal dat voor voortgezet realistisch wiskundeonderwijs ontworpen is, alhoewel Doorman²⁶⁵ een bescheiden poging heeft gedaan om hier anders mee om te gaan. Het lijkt alsof de ontwerpers er de voorkeur aan geven om leerlingen, op een vaak heel creatieve wijze, te laten ervaren dat wiskunde een veelheid van contexten kan mathematiseren. Naar mijn oordeel houdt dit echter tegelijk in dat daardoor de inhoudelijke gang vanuit het standpunt van de leerling onvermijdelijk een top-down karakter krijgt. Leerlingen kunnen niet anders dan steeds nieuwe opdrachten uitvoeren, zonder te weten waartoe die opdrachten moeten dienen en moeten leiden. Het is dan ook zeer de vraag of dergelijk vormgegeven onderwijs leidt tot wat het pretendeert, namelijk dat “*students should experience the learning of mathematics as a process similar to the process by which mathematics was invented.*”²⁵⁴ Wat geen aandacht krijgt in de lessenserie van Bakker is de inhoudelijke motivering voor leerlingen. Dezelfde kritiek dus als eerder op het WEI-onderwijs. Op zich staat hij, zoals gezegd, daarin niet alleen, want het maakt ook geen deel uit van de theorie voor realistisch wiskundeonderwijs. Daarin kom ik wel zaken tegen als: “*Designers should think of how they could have reinvented the mathematics at issue themselves (thought experiment); historical phenomenology; didactical phenomenology; use of students’ informal solutions*”, etc. Kortom, alle aandacht ligt op de conceptuele uitlijning, maar niet op de vraag hoe die voor leerlingen duidelijk te maken.

In dit opzicht is het leerzaam om nog eens te kijken naar de oorsprong, naar het werk van het Wiskobas-team, zoals bijvoorbeeld vormgegeven in het prachtige thema ‘Gulliver’, waarin reuzen en lilliputters samenleven. Het lijkt me dat een goed voorbereide docent met dat materiaal als vanzelf met leerlingen op een zoektocht kan gaan, waarbij als vanzelf bij leerlingen steeds weer nieuwe vragen kunnen worden opgeroepen die vragen om een nader onderzoek van verhoudingen. Kortom, de inhoudelijke motieven volgen als het ware vanzelf uit het onderwerp. In de theorievorming heeft dat daarom geen aparte aandacht gekregen, maar is het besloten in de noodzaak om thema’s te kiezen die als het ware als vanzelf vragen om mathematisering (“*beg to be mathematised*” volgens Freudenthal). Maar die thema’s liggen niet voor het oprapen op complexer niveau. Mocht deze analyse enigermate juist zijn, dan concludeer ik dat er ook ten aanzien van het aspect inhoudelijke motivering een sluipende betekenisverandering lijkt te hebben plaatsgevonden in de realistische wiskundendidactiek bij de overgang van primair naar secundair onderwijs.

- 10 Een andere foto is van een **Stok** die wordt weggegooid. Bekijk deze foto met Flits. De vraag is of het midden van de stok meer afstand aflegt dan het uiteinde.
- Volg eerst het midden van de stok en daarna een uiteinde met een andere kleur. Bekijk de twee grafieken. Hoe verschillen de twee bewegingen?
 - Is de afgelegde weg van het uiteinde langer dan, gelijk aan, of korter dan die van het midden? Leg uit hoe je aan je antwoord komt.



verplaatsing De grafiek van Flits met de verplaatsingen tussen twee flitsen laat zien hoe de verplaatsingen toe- en afnemen. Dit heet een *verplaatsingsgrafiek*.

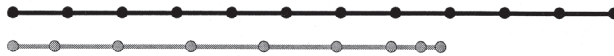
afgelegde weg In de som-grafiek van Flits waarbij je de verplaatsingen laat optellen zie je de totale verplaatsing, de afgelegde weg tot dan toe. Dit heet een *grafiek van de afgelegde weg*.

- 11 Al eerder heb je kennis gemaakt met de cheetah en de zebra. Hieronder zijn de positiemetingen uit opgave 4 vereenvoudigd in een wiskundig plaatje. Je ziet een stippentekening van de twee rennende dieren met hun verplaatsing na iedere 5 seconden. Alsof er een stroboscopische foto is gemaakt.

De cheetah en de zebra

De snelste sprinter ter wereld is de cheetah. Zijn poten zijn korter dan die van een zebra, maar hij kan in 17 seconden op een topsnelheid van meer dan 110 km per uur komen en die volhouden over een afstand van ruim 450 m. De cheetah wordt echter gauw moe, terwijl een zebra die een topsnelheid van 70 km/uur haalt, over ruim 6 km een snelheid van 50 km/uur kan handhaven.

1 cm = 100 m.
stippen na iedere 5 sec.



- Welke serie hoort bij welk dier?
- Als ze op hetzelfde moment starten, haalt de cheetah dan de zebra in?
- Hoe zou je nu kunnen uitvinden bij welke voorsprong een zebra kans op ontsnapping heeft?

Figuur 92. Opdrachten achter elkaar²⁶⁵ Een klein voorbeeld van hoe leerlingen vaak opdrachten moeten uitvoeren, zonder dat de impliciete structuur op een voor hen duidelijke wijze wordt ge-problematiserd.

Alles bij elkaar concludeer ik dat er, naar mijn idee, op het niveau van het secundair onderwijs nauwelijks nog een belangrijk didactisch verschil is aan te geven ten aanzien van ‘guided reinvention’, tussen bijvoorbeeld het vak wiskunde en het vak natuurkunde. En dat betekent dat we veel van de ervaringen met realistisch wiskundeonderwijs, evenals veel kenmerken van de daarbij horende instructietheorie, ontwikkelingsprincipes en heuristieken, in principe, ook kunnen gebruiken in de natuurkundedidactiek. Blijft uiteraard het probleem van de precieze vormgeving.

Is er dan geen verschil voor wat betreft het omgaan met de vele misconcepties, zoals besproken in hoofdstuk 8? Niet echt, ben ik geneigd te concluderen, als we bedenken dat we bijvoorbeeld in de statistiek, maar ook bij de ontwikkeling van de infinitesimaalrekening tegen dezelfde problemen oplopen. Dus wordt de vraag hoe daar in de natuurkunde-didactiek dan mee is omgegaan.

9.3 Conceptual Change

9.3.1 De ‘conflict’-theorie

In het vorige hoofdstuk zijn we, onder andere bij de bespreking van het interpretatieprobleem, al een aantal keren de term ‘conceptual change’ tegengekomen, alsmede een aantal veronderstelde noodzakelijke kenmerken van een hierop gerichte didactiek. Toen heb ik dit als eigenlijk redelijk voor zichzelf sprekend beschreven, maar het is nu de tijd om hier dieper op in te gaan. In het recente ‘Second International Handbook on Science Education’²⁶⁶ is heel ‘Part II’, met elf bijdragen, gewijd aan ‘Learning and Conceptual Change’. En dat ondanks het feit dat er nog pas in 2008 een ‘International Handbook of Research on Conceptual Change’ is verschenen. Betekent dit dat er sprake is van grote en snelle ontwikkelingen op dit gebied? Allerm minst. Het betekent vooral dat grote wetenschappelijke uitgeverijen in hevige onderlinge competitie zijn gewikkeld, en dat er een aantal auteurs is dat daar gretig gebruik van maakt door zichzelf, zij het uiteraard met de nodige variatie, voortdurend te herhalen^{266,267}. Maar het betekent ook dat ‘conceptual change’ een onderwerp is dat de gemoederen nog steeds bezig houdt. En dat dus al geruime tijd, want de oorsprong ligt in het exploderende onderzoek naar misconcepties, begin jaren tachtig van de vorige eeuw. Hoe moesten we daar didactisch gezien, eigenlijk mee omgaan?

Voor zover mij bekend is de term ‘conceptual change’ voor het eerst uitgewerkt tot wat je een didactische theorie zou kunnen noemen door Posner et al.²⁶⁸. Laten we

²⁶⁶ B.J. Fraser, K.G. Tobin & C.J. McRobbie (Eds.) (2012). *Second International Handbook of Science Education*. Heidelberg: Springer. Twee van de hoofdbijdragen over ‘Conceptual Change’ zijn:

R. Duit & D.F. Treagust, How can conceptual change contribute to theory and practice in science education?, 107-118.

S. Vosniadou, Reframing the classical approach to conceptual change: Preconceptions, misconceptions and synthetic models, 119-130.

²⁶⁷ Geredigeerd door S. Vosniadou. New York: Routledge.

²⁶⁸ G.J. Posner, K.A. Strike, P.W. Hewson & W.A. Gertzog (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.

proberen hun gedachtegang te volgen. *“We see learning as a rational enterprise, and we understand rationality as having to do with the conditions under which a person is or should be willing to change his or her mind. (...) The student who learns something is the one who understands a new idea (which requires it to be located in a semantic syntactical network of concepts), is the one who judges its truth value (which requires relating the idea to appropriate standards of evidence), and is the one who can judge its consistency with other ideas (which may require alterations in the overall conceptual organization). To learn an idea in any other way is to acquire a piece of verbal behavior which one emits to a stimulus, rather than to understand an idea which one can employ in an intellectually productive way.”*

Voor hen zijn de belangrijke vragen de manier waarop lerenden nieuwe concepties opnemen in hun aanwezige cognitieve structuur, en de manier waarop zij concepties die disfunctioneel zijn geworden vervangen door andere. Als antwoord daarop zien zij een zekere overeenkomst tussen de manier waarop een onderzoeker worstelt met nieuwe ideeën en de manier waarop kinderen, bijvoorbeeld, elementaire ideeën over beweging proberen te begrijpen. Onder verwijzing naar Kuhn (en Piaget), gebruiken ze de term ‘accommodation’ voor grootschalige conceptuele veranderingen, en de term ‘assimilation’ voor die leermomenten die niet vragen om een majeure revisie. Het is vooral de accommodatie die hun verdere aandacht heeft. Zij formuleren daarvoor de volgende voorwaarden:

“1. There must be dissatisfaction with existing conceptions. Scientists and students are unlikely to make major changes until they believe that less radical changes will not work.

2. A new conception must be minimally understood. The individual must be able to grasp how experience can be structured by a new conception sufficiently to explore the possibilities inherent in it.

3. A new conception must appear initially plausible. Any new conception adopted must at least appear to have the capacity to solve the problems generated by its predecessors, and to fit with other knowledge, experience, and help. Otherwise it will not appear a plausible choice.

4. A new conception should suggest the possibility of a fruitful research program. It should have the potential to be extended to open up new areas of inquiry and to have technological and/or explanatory power. (...)

Generally, a new conception is unlikely to displace an old one, unless the old one encounters serious difficulties and a new understandable and initially plausible conception is available that resolves these difficulties. That is, the individual must first view an existing conception with some dissatisfaction before he or she will seriously consider a new one.”

Deze voorwaarden worden verder in detail uitgewerkt, maar interessanter is hoe zij beschrijven hoe iemands cognitieve ‘resources’, zijn ‘conceptual ecology’, de vorming van een nieuwe conceptie kunnen beïnvloeden. Belangrijk hiervoor zijn het gebruik van anomalieën, analogieën en metaforen, van prototypische voorbeelden en gedachtenexperimenten, maar daarnaast wijzen ze ook op het belang van ‘epistemological commitments’ en ‘metaphysical beliefs and concepts’:

K.A. Strike & G.J. Posner (1985). A conceptual change view of learning and understanding. In: L. West & L. Pines (Eds.), *Cognitive Structure and Conceptual Change* (pp. 211-231). New York: Academic Press.

K.A. Strike & G.J. Posner (1992). A revisionist theory of conceptual change. In: R.A. Duschl & R.J. Hamilton (Eds.), *Philosophy of Science, Cognitive Psychology and Educational Theory and Practice* (pp. 147-175). New York: New York Press.

“*Epistemological commitments.*

a. Explanatory ideals. Most fields have some subject matter specific views concerning what counts as a successful explanation in the field.

b. General views about the character of knowledge. Some standards for successful knowledge, such as elegance, economy, parsimony, and not being excessively ad hoc, seem subject matter neutral.

Metaphysical beliefs and concepts.

a. Metaphysical beliefs about science. Beliefs concerning the extent of orderliness, symmetry, or non-randomness of the universe are often important in scientific work and can result in epistemological views which, in turn, can select or reject particular kinds of explanations. Beliefs about the relations between science and commonplace experience are also important here.

b. Metaphysical concepts of science. Particular scientific conceptions often have a metaphysical quality in that they are beliefs about the ultimate nature of the universe and are immune from direct empirical refutation. A belief in absolute space or time is an example.”

Hét kenmerk van deze theorie is haar rationele uitgangspunt, waarop dan ook hevige kritiek is geuit. Leerlingen worden geacht niet alleen kleine natuurkundigen te zijn, maar dan ook nog heel rationele natuurkundigen. De gedachtegang is immers volledig gebaseerd op het idee van paradigmawisseling volgens Kuhn. Echter, het proces van paradigmawisseling is een collectief proces. Het weerspiegelt de rationaliteit van een gemeenschap van individuen, die elkaar aanvullen en bekritisieren. Het is dus ook een uitermate reflectief proces. Individuele natuurkundigen zijn vaak helemaal niet zo rationeel als het gaat om theoriewisseling. Bekend is immers de uitspraak dat nieuwe paradigma’s pas volledig geaccepteerd zijn, als de aanhangers van de oude zijn uitgestorven. Dat betekent dat bij theorievorming en acceptatie vaak ook heel irrationele elementen een rol kunnen spelen. Het is lang niet zo dat nieuwe evidentie altijd eenduidig wijst in de richting van een theorieaanpassing. Daarin spelen immers ook altijd subjectieve wegingsfactoren een rol.

De beschreven ‘conceptual change’ theorie gaat, zoals gezegd, over de grotere accommodatiestappen, bijvoorbeeld overeenkomend met het veranderen van een zienswijze of ‘framework’. Het is de noodzakelijke open en gedisciplineerde, rationele en vaak ook complexe, manier van redeneren op grond van beschikbare evidentie, die Lawson²⁶⁹ bracht tot de volgende conclusie: “*For students to modify prior conceptions they must become aware of the scientific conceptions, as well as their own alternative conception(s), and they must become aware of the evidence and reasoning which bears on the validity of the alternative conceptions. In other words, they must be able logically to ‘see’ how the evidence supports the scientific conceptions and contradicts the prior alternative(s). Logically ‘seeing’ this, however requires the use of hypothetico-deductive reasoning. Because hypothetico-deductive reasoning is precisely that used to evaluate alternative conceptions in a logical manner, students who have failed to internalize this reasoning pattern would be expected to hold more misconceptions than their hypothetico-deductive peers. A recent study found this to be precisely the case.*” Ofwel, een pleidooi om het belang van Piaget’s

²⁶⁹ A.E. Lawson (1989). Research on advanced reasoning, concept acquisition and a theory of science instruction. In: P. Adey et al. (Eds.), *Adolescent Development and School Science* (pp. 11-38). London: Falmer.

formele denkpatronen, juist in dit verband, niet te vergeten. Vorm kan niet zonder inhoud, maar inhoud ook niet zonder vorm!

Op deze 'theorie' is veel kritiek gekomen, met name omdat het fnuikend zou zijn voor het zelfrespect van leerlingen om steeds via cognitieve conflicten te moeten ervaren dat voor hen vanzelfsprekende zaken toch steeds 'fout' blijken te zijn²⁷⁰. Maar, zoals we gezien hebben, in de loop der jaren werd toch ook steeds meer de vraag gesteld of dat wel een juist uitgangspunt was. Of er niet veel vaker sprake zou moeten zijn van continue 'conceptual growth', of van 'conceptual extension', dan van discontinue 'change'. Dat heeft geleid tot belangrijke aanvullingen, maar voordat ik daar op in ga, wil ik er toch op wijzen dat, mijns inziens, aan deze 'change' benadering, mits 'charitable' geïnterpreteerd, wel degelijk veel didactisch bruikbare ideeën te ontleen zijn.

Immers, als we deze theorie welwillend interpreteren, dan zie ik veel overeenkomst met het voorgaande. Is het langdurige veranderingsproces, dat de theorie beschrijft, niet vergelijkbaar met een proces van overgang tussen Van Hiele niveaus? Is er geen grote overeenkomst tussen het ongenoegen (van Ten Voorde) en de hier genoemde 'dissatisfaction'? Kunnen alle elementen van de 'conceptual ecology' niet worden opgevat als overeen te komen met instrumenten voor verticale fysicalisering, net als in de realistische rekentheorie? Instrumenten die door de docent zorgvuldig moeten worden ingezet in een verticaal begripsontwikkelingsproces. Is het sterk reflectieve veranderingsproces niet gebaseerd op dezelfde inhoudelijke reflectie die Freudenthal, als motor voor voortgang, propageert?

Wat overigens niet in de theorie is uitgewerkt, is de wijze waarop het proces feitelijk in de klas moet worden vormgegeven. Het lijkt me dat juist de docent daarin een uiterst belangrijke rol heeft, in het bijzonder in het, in samenspraak met de leerlingen, laten werken van alle rationele argumenten. Het rationeel (leren) redeneren 'als een fysicus', kan immers geen vooronderstelling zijn voor het onderwijsproces, maar er hooguit uit resulteren.

9.3.2 De trage inbreker

De hier beschreven nuanceringsen waren overigens niet altijd aanwezig in de vroege toepassingen van 'conceptual change'. Om niet te zeggen dat er, zeker in de beginfase, vaak sprake was van een, achteraf gezien, nogal naïeve interpretatie van de theorie. Een duidelijk en leerzaam voorbeeld daarvan betrof een computertoepassing, onder de titel 'De trage inbreker'²⁷¹. Een poging om de preconcepties ten aanzien van kracht en beweging, door middel van een cognitief conflict, aan het wankelen te brengen en te vervangen door Newtoniaanse concepties.

Het pakket 'De trage inbreker' bestond uit een leerlingwerkboek en een computerpro-

²⁷⁰ G. Claxton (1989). Cognition doesn't matter if you're scared, depressed or bored. In: P. Adey et al. (Eds.), *Adolescent Development and School Science* (pp. 155-161). London: Falmer.

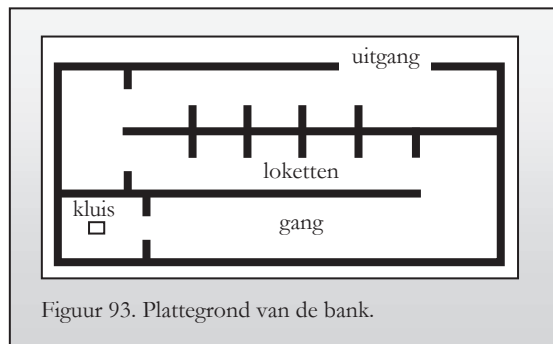
J. Head (1989). The affective constraints on learning science. In: P. Adey et al. (Eds.), *Adolescent Development and School Science* (pp. 162-168). London: Falmer.

²⁷¹ F.E. van 't Hul, W.R. van Joolingen & P.L. Lijnse (1989). Begripsverandering en microcomputers, praktijkervaringen met kracht en beweging. *TD-β*, 7, 172-191. Dit programma is indertijd op grote schaal gebruikt.

gramma. Om de motivatie en de betrokkenheid van de leerlingen te verhogen, was het programma opgebouwd rond een spelsituatie. De leerling speelde de rol van inbreker die was ingebroken in een bankgebouw en de brandkast naar buiten wilde duwen voordat de politie kwam. Op het beeldscherm was de plattegrond van het bankgebouw getekend (figuur 93). Met behulp van pijltjestoetsen konden duwtjes worden gegeven, met als gevolg dat de brandkast in beweging kwam, onder achterlating van een spoor van punten. Bij zijn bewegingen gehoorzaamde de brandkast aan de wetten van Newton. Het programma was opgebouwd uit de hieronder beschreven delen A t/m D.

A De brandkast verslepen, een spel met vragen – In dit deel moest de brandkast naar buiten geduwd worden, terwijl er sprake was van sterke wrijving tussen vloer en brandkast. Als gevolg van de wrijving hield de brandkast vrijwel onmiddellijk op met bewegen, als de toets waarmee ‘geduwd’ kon worden werd losgelaten. Als de leerling ontsnapt was, werd hem gevraagd zijn mening te geven over de volgende drie regels: (1) Alleen als je duwt (een kracht uitoefent) beweegt de brandkast, (2) Om de brandkast in beweging te houden, moet je blijven duwen (kracht blijven uitoefenen), en (3) De brandkast beweegt alleen in de richting waarin je duwt (een kracht uitoefent).

Het doel van dit deel was om de leerling zich in zekere mate bewust te laten worden van zijn leefwereldideeën, als voorbereiding op de nagestreefde ‘conceptual change’. Overigens zij opgemerkt dat met bovenstaande regels, in de gegeven situatie, niets mis is. Ze worden dat pas als je de uitdrukking ‘een kracht uitoefent’ algemeen fysisch interpreteert.



Figuur 93. Plattegrond van de bank.

B De brandkast verrijden, een spel om te oefenen – Het was in dit deel de bedoeling nogmaals uit het bankgebouw te ontsnappen, echter nadat de inbreker de brandkast op een hypothetisch wrijvingsloos karretje had geplaatst. Voordat hij aan het spel begon, werd de leerling gevraagd of hij dacht dat het nu gemakkelijker zou gaan. Dat bleek echter verre van het geval te zijn. De functie van dit deel was het aanbieden van nieuwe verrassende ervaringen, die tot een zekere verwondering en cognitief conflict moesten leiden.

C De confrontatie tussen A en B: wat is eigenlijk het verschil?²⁷² – Deze nadere reflectie startte met de verlaging van de status van de leefwereldideeën. Beide bewegingen werden nu naast elkaar op het scherm vertoond. Met één toetsaanslag kon tegen beide brandkasten een duw worden gegeven, met als opdracht te proberen één van beide brandkasten de bocht om te krijgen. Daarmee werden de verschillen in bewe-

²⁷² Nog herinner ik me het protest tegen deze conflictstrategie van onze reken/wiskunde-collega's, toen we dit programma op een gezamenlijke bijeenkomst presenteerden. Zo ga je niet met kinderen om, was hun commentaar – en, inderdaad, deze strategie past helemaal niet in het realistisch raamwerk.

ging direct met elkaar geconfronteerd. Na deze confrontatie werd opnieuw de mening gevraagd over bovenstaande drie regels (met terugkoppeling op de antwoorden). Met als slotvraag of de leerling ook van mening veranderd was.

D De oplossing: traagheid, simulaties om van te leren – In dit deel werd de wrijvingskracht ingevoerd, met een aantal oefeningen en aanvullende simulaties. Doel was om het conflict op te heffen waarin de leerlingen zich, volgens de veronderstellingen die aan het programma ten grondslag lagen, na de delen B en C zouden hebben moeten bevinden.

Wat kwam hier nu van terecht en wat leren we hiervan ten aanzien van ‘conceptual change’? Het spelen van deel A ging volgens verwachting: alle leerlingen waren na één, hooguit twee pogingen ontsnapt uit het bankgebouw. Hierna bevestigden ze, zoals van te voren was verwacht en beoogd, de voorgelegde regels. Op de vraag of de regels ook in een situatie zonder wrijving zouden gelden, werd overwegend bevestigend geantwoord.

Bij het begin van spel B waren er verbaasde reacties: “de brandkast schiet door”, na een duw, en daardoor “is ie moeilijker te sturen.” En als hij te hard gaat “vliegt hij uit de bocht.” Na een aantal pogingen kwam pas de gedachte op dat je moest afremmen. Dit leverde soms, als gevolg van de wrijvingsloze beweging, een nieuwe verrassing op: “Ja, kijk, dan doe ik em terug, en dan doet ie het niet.” Dat wil zeggen dat een duw tegen de beweging in niet zonder meer tot gevolg had dat de brandkast ook in de duwrichting ging bewegen.

Aanvankelijk waren leerlingen geneigd een plaatscriterium te hanteren voor het gaan afremmen, namelijk bij de bocht. Het was een essentieel leermoment als ze zich realiseerden dat ze moesten anticiperen op deze bocht en een snelheidscriterium moesten gebruiken. “Nou, als ‘t ie even snel versnelt als dat ie vertraagt, dan moet je volgens mij hier precies in het midden beginnen te vertragen. En dat geldt volgens mij hier ook zo...”

Interessant was ook de verandering in woordgebruik. In eerste instantie werd uitsluitend op knopniveau gewerkt (rechts, rechts, links, opzij...). Dit veranderde geleidelijk in het spreken over sneller en langzamer, over remmen, en ten slotte over versnellen en vertragen. Concluderend werd gesteld dat deel B wel resulteerde in leerervaringen, maar niet leidde tot het beoogde resultaat. Voor zover er conflicten optraden, werden deze onmiddellijk op leefwereldniveau wegverklaard.

Dit was ook het geval bij onderdeel C. Uiteindelijk bleken wel bijna alle leerlingen het niet meer eens te zijn met de drie regels, maar slechts weinigen gaven aan dat ze ook van mening waren veranderd. Sterker, alle leerlingen zeiden dat er bij B “gewoon andere regels gelden” dan bij A, het was immers een ander spel! Het volgende protocol-fragment wil dit illustreren.

- L3 Allemaal onjuist. (Dit betreft hun mening over de regels.) Nou bij deel A, wat hebben we daar?”
- L4 Alles was bij A juist.
- L3 Ja, ben je van mening veranderd? ... Nee.
- L4 Nee, mijn mening is niet veranderd, natuurlijk.
- L3 Nee, maar hier is onze mening veranderd.

- L4 Ja, het is anders, maar ik ben niet van mening veranderd, toch? Ben ik van mening veranderd?”
- L3 Ja, maar ik wel.
- L4 Nee, ’t is gewoon anders.
- L3 Ja, ’t is gewoon anders, maar ik ben niet van mening veranderd.
- L4 Gezellig hè, zo’n spelletje.

Dus ook deel C voldeed niet aan de verwachtingen! Er traden wél ‘conflicterende’ situaties op in deel D. De leerlingen bleken veel moeite te hebben met het op de juiste manier aangeven van de grootte van de krachten op de brandkast met wrijving. Zo werd in dit stadium nog vaak aangegeven dat, bij constante snelheid, de duwkracht groter is dan de wrijvingskracht. Ten aanzien van de gebruikte conflictstrategie leidde dit tot de volgende reflectie. Positief was dat het volgen van een bepaalde strategie duidelijk structuur had gegeven aan de ontwikkeling van een programma (of van lesmateriaal in het algemeen). Gebleken was echter ook dat er een duidelijke afstand was tussen theorie en praktijk. Zo concludeerden we dat de kritiek op de strategie, namelijk dat deze zou uitgaan van een te rationele opvatting van leren, bevestigd werd door onze ervaring. Aan de structuur van het programma lag immers impliciet de veronderstelling ten grondslag dat leerlingen, uitgedaagd door conflicterende situaties, zich een consistente natuurkundige zienswijze op het beschrijven van bewegingen zouden willen eigen maken. Dit vooronderstelde echter een mate van rationaliteit, die duidelijk te ver ging. Dit gold ook voor de ‘epistemological commitments’. In de natuurkunde zoeken we naar algemene gegeneraliseerde kennis en alleen vanuit deze wetenschap is het duidelijk dat er een conflict kan ontstaan als in deel B de regels van deel A niet op blijken te gaan. Echter, voor de leerlingen was het niet noodzakelijk dat sterk verschillende situaties met dezelfde regels beschreven moeten kunnen worden. Wetenschappelijke consistentie en generaliseerbaarheid van begrippen waren voor hen nog geen gezichtspunt. Zo leek het terecht om vanuit theoretisch didactisch standpunt de mogelijkheid van een statusverlaging door conflicterende situaties te veronderstellen, maar de praktijk wees uit dat het, in dit geval, van te voren niet te voorspellen was welke situaties in welke mate door leerlingen ook inderdaad als conflicterend werden ervaren. Met name de neiging van leerlingen om zoveel mogelijk verrassende ervaringen op leefwereldniveau te blijven ‘verklaren’, en daarmee het bedoelde conflict te ontlopen, bleek een onverwacht probleem. Dat wijst overigens op een terecht punt in de theorie, namelijk dat je alleen een twijfel aan, en een verandering van een gezichtspunt mag verwachten, als er een helder alternatief beschikbaar is.²⁷³

Dit voorbeeld moge illustreren dat een al te naïeve toepassing van ‘conceptual change’ weliswaar voor leerlingen boeiende ervaringen kan opleveren, maar toch niet gemakkelijk resulteert in het beoogde leerproces. Zou dat beter kunnen gaan in langer du-

²⁷³ Overigens kwam in dit onderzoek ook een heel ander aspect naar voren ten aanzien van het gebruik van op zich motiverende programmatuur. De leerlingen vonden het spelen met het programma heel leuk, maar waren in staat dit volledig op ‘knopniveau’ uit te voeren, dat wil zeggen zonder inhoudelijk echt over de bedoelingen na te hoeven denken. Een probleem dat zich tot op de dag van vandaag in allerlei ICT-toepassingen voordoet.

rende leerprocessen, waarin ook meer aandacht wordt besteed aan de onderlinge interactie tussen docent en leerlingen?

9.3.3 Een 'groei'-theorie?

De conflicttheorie was aanvankelijk ontwikkeld voor 'overcoming misconceptions'. In de loop der jaren werd echter steeds duidelijker dat er, in plaats van 'Umlernen', misschien veel vaker sprake kon zijn van 'Dazulernen'. Dat vroeg dus, mede vanwege de tegenstand tegen het te pas en te onpas oproepen van cognitieve conflicten, ook om andere benaderingen. Al kunnen we, naar mijn idee, ook een geleidelijk verlopend onderwijsleerproces nog steeds grotendeels beschrijven met de belangrijkste elementen van de conflicttheorie. Het enige wat daartoe echt moet worden gewijzigd is dat de negatieve heuristiek die samenhangt met 'dissatisfaction', wordt vervangen door een positieve van 'verwondering en nieuwsgierigheid'. In feite betekenen beide heuristieken dat er gezocht wordt naar een motief voor het zinvol starten van een leerproces. Het enige waarin ze sterk verschillen is de aard en inhoud van dit motief. De term 'cognitief conflict' wordt trouwens ook vaak te negatief uitgelegd, alsof het altijd zou gaan om zaken die strijdig met elkaar zijn. Maar als je bijvoorbeeld bij een onverwacht experiment of verschijnsel in verwarring wordt gebracht, en de vraag 'hoe kan dat nou?' opkomt, dan is er enerzijds sprake van dat je kennis van dat moment kennelijk te kort schiet of je zelfs op het verkeerde been kan hebben gezet, maar tegelijk kan daar nieuwsgierigheid uit resulteren naar 'het hoe dan wel'. In ieder geval ligt in het laatste juist ook de taak van de leraar.

Driver²⁷⁴ heeft uitvoerig geschreven over het werk van de 'Children's Learning in Science Group'. Een groep docenten en onderzoekers die, door middel van actie-onderzoek, hebben gezocht naar nieuwe constructivistische wegen voor de didactiek van het science-onderwijs. In deze en volgende paragrafen zal ik daar uitgebreid gebruik van maken. Zo onderscheidde deze groep, op grond van hun ontwikkelwerk, verschillende aanpakken van begripsontwikkeling.

"Within the teaching schemes developed by the CLIS-project, a number of different teaching manoeuvres have been used to encourage the construction of new conceptions. The choice of the manoeuvre has depended on the nature of the students' prior conceptions and the learning goals. The following are among those that have been used:

1. *Broadening the range of applications of a conception:*

Students' prior conceptions may be a resource which can be extended. (...)

2. *Differentiation of a conception:*

In many areas students' conceptions can be global and ill-defined and particular experiences are necessary to help them differentiate their notions. (e.g. heat and temperature, force and energy) (...)

²⁷⁴ R. Driver & V. Oldham (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13, 105-122.

R. Driver (1988). Changing conceptions. *TD-β*, 6, 161-198.

R. Driver (1989). Changing conceptions. In: P. Adey et al. (Eds.), *Adolescent Development and School Science* (pp. 11-38). London: Falmer.

R. Driver (1993). Constructivist perspectives on learning science. In: P.L. Lijnse (Ed.), *European Research in Science Education* (pp. 65-74). Utrecht: CD-β Press.

3. *Building experiential bridges to a new conception:*

Research with college students (Clemen²¹¹) has indicated the importance of thought experiments in constructing conceptual bridges. Our work has been with younger students and perhaps not surprisingly, we find it can be important for such bridges to be constructed through practical experiences. (...)

4. *Unpacking a conceptual problem:*

In some cases a conceptual problem occurs which cannot be solved directly but which requires a deeper problem to be addressed. A clear example of this occurs in the teaching of the kinetic-molecular theory of gases where children will accept the existence of particles but have difficulty with the concept of intrinsic motion. The prior conception to be dealt with here is the well-known conception of ‘motion requiring a force’. (...)

5. *The importing of a different model of analogy:*

(...) Simple experiences with objects in one domain are being drawn on to account for behaviour in another domain. (...)

6. *The progressive shaping of a conception:*

(...) In adopting a model, students need opportunities to test it out, see where it fails in order to adapt it. Some bits will be constructed which conform to scientific ideas, others will not. (...)

7. *The construction of an alternative conception:*

In some cases students’ prior ideas are incommensurate with the scientific conceptions, and attempting to shape their notions into the scientific ideas only leads to problems. In a case of this kind we have acknowledged students’ prior ideas and discussed them. We have then indicated that scientists have a different view and an alternate model is built. Students have the opportunity later to evaluate the scientific model in relation to their prior ideas.”

Allereerst valt op dat dit meer een verzameling verstandige ideeën is, dan een theorie. En dat klopt uiteraard met hun ontstaanswijze uit actie-onderzoek. Tezamen met alle elementen van een ‘welwillend’ geïnterpreteerde conflicttheorie vult zich nu langzamerhand het didactische landschap. Afhankelijk van het specifieke onderwerp en de na te streven doelen, kies je een verstandige begripsontwikkelingsstrategie om die doelen ook zo goed mogelijk te kunnen bereiken.²⁷⁵

9.3.4 Constructivistische curriculumontwikkeling

In het CLIS-project zijn meerdere lessenseries ontwikkeld en uitgetest, op grond waarvan een constructivistische visie op curriculumontwikkeling werd geformuleerd. Deze wil ik nu weergeven en bespreken. Overigens waren er, internationaal gezien, meer groepen die soortgelijke projecten uitvoerden. Op verschillen en overeenkomsten daartussen ga ik niet verder in, onder andere omdat het CLIS-project zeker één van de meest toonaangevende geweest is. Hun werk werd zelfs vaak beschouwd als hét prototype van ‘constructivistisch onderwijs’. Alsof dat er dus zo uit moest zien, wat overigens bij nader inzien volstrekt niet terecht geweest is.

Zoals zonet hierboven gezegd, aan dit soort curriculumontwikkeling dient wel een zo expliciet mogelijk geformuleerde visie ten grondslag te liggen. Zo zagen zij leerlingen

²⁷⁵ P.H. Scott, H.M. Asoko & R.H. Driver (1992). Teaching for conceptual change: A review of strategies. In: R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Eds.), *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies* (pp. 310-329). Kiel: IPN.

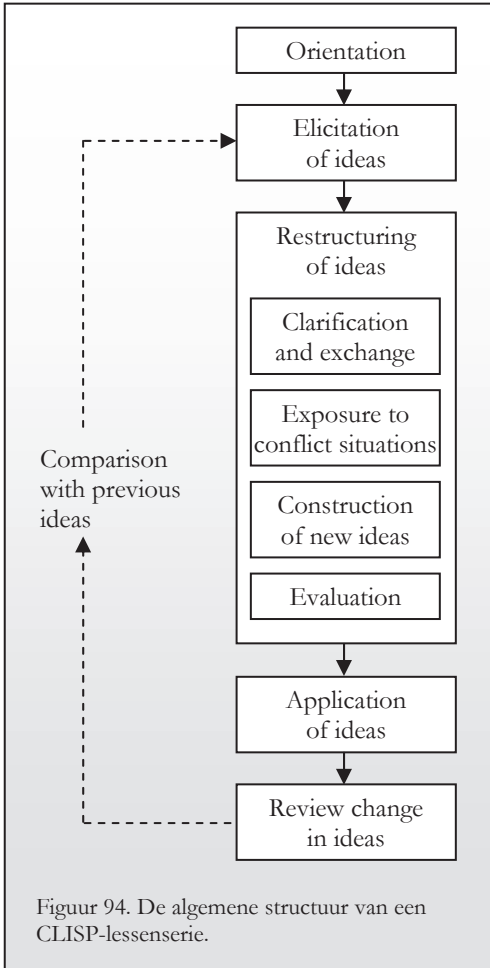
niet als passieve ontvangers van een onderwijsprogramma, maar als doelgerichte lerenden die verantwoordelijk zijn voor hun eigen leerproces. Leren werd gezien als samen te gaan met het veranderen van concepties van de lerende, waarvoor een actief proces van betekenisconstructie door de lerende noodzakelijk is. Om misverstand te voorkomen, dit betekent niet dat leerlingen alles zelf moeten ontdekken. "... since

scientific ideas are products of a social enterprise in this sense they are conventions; students will not discover them through 'asking nature'. There needs to be input, therefore, from the teacher or other authorities to shape students' thinking if they are to see the world through scientists' eyes." Deze constructivistische 'geloofsbelijdenis' is, gezien al het voorgaande, uiteraard niet meer verbazingwekkend. Voor de volgende punten geldt dat, in ieder geval enigermate, misschien nog wel.

"Teaching is not the 'transmission' of knowledge but the negotiation of meanings. It involves the organization of situations in the classroom and the control of tasks in a way which promotes intended learning outcomes.

Curriculum is not that which is to be learned but a programme of learning tasks, materials and resources which enable students to reconstruct their models of the world to be closer to those of school science."

Het was met name de term 'negotiation of meanings' die nogal wat weerstand opriep. Werd hiermee echt bedoeld dat een docent met zijn leerlingen moest onderhandelen over betekenissen, net zoals de marktkoopman dat doet met zijn klanten over de prijs? Jij een onsje meer van dat en ik van dit? Voor radicaal



constructivisten kwam het hier eigenlijk wel op neer, omdat ieder dan zijn eigen waarheid heeft, en de ene waarheid niet meer 'waar' is dan de andere. De gematigd constructivisten zagen hierin echter vooral een proces van overleg tussen leerlingen en leraar, waarin de docent uiterst zorgvuldig en zo productief mogelijk omgaat met de inbreng van de leerlingen.

Een belangrijk gevolg van deze uitgangspunten is dat een curriculum niet iets is dat van tevoren, op een 'a priori' manier, gepland kan worden, maar noodzakelijkerwijs het resultaat moet zijn van empirisch onderzoek. Immers, *"if we want to understand a student's experience, the process of learning, and the reasons why some learning outcomes are occurring and not others, we must understand the tasks in which students are engaging and not just the tasks*

the teachers think they are ‘giving’ to students.” Het vormgeven van een ‘bottom-up’ leerproces kan dan niet anders dan een empirische zoektocht naar een mogelijk effectieve leerweg zijn, zodat je ook van te voren niet kunt voorspellen hoever je daarin kunt komen. Ofwel, ook je onderwijsdoel is een *resultaat* van die zoektocht, niet een vastgelegde keuze vooraf.

Het is bijna schokkend om je te realiseren hoe totaal anders deze visie op curriculumontwikkeling is, in vergelijking met alle curriculumvernieuwingsprojecten van de laatste jaren. Met CLISP zitten we nog in de ‘softe’ tijd van eind vorige eeuw, nu in het harde nieuwe ‘realisme’. Overigens zij nog opgemerkt dat ook de WEI een soortgelijk ‘softe’ visie had op het curriculum, en ook daarin dus zijn tijd ver vooruit was.

Voor de uitwerking van de CLISP-ideeën werd er naar gestreefd de leeromgeving aan de volgende kenmerken te laten voldoen.

1 Aandacht voor metacognitie – *“Students tend to think of learning as ‘taking in’ discrete facts. Strategies which encourage students to reflect on their own learning help them appreciate that a process of conceptual change is involved, also that their knowledge is structured and interrelated. Techniques which have been used to encourage this process include students comparing their ideas at the beginning and the end of a learning sequence also keeping personal learning logs.”*

2 Algemene structuur van een lessenserie – *“After a scene setting orientation [figuur 94] activity in which students’ attention and interest in the topic is aroused, the class spends time discussing and reviewing their own ideas or models. This elicitation phase is usually conducted in small groups first. Each group is asked to represent their ideas on a poster or by other means and then present these to the class as a whole. Similarities and differences in students’ prior ideas are identified and issues for further consideration are noted. The posters remain displayed as a record during the rest of the unit of work and may later be amended or commented on. It is not only teachers who need to be aware of students’ prior conceptions, it is important that students themselves make them explicit and clarify them. The restructuring phase, the heart of the scheme, has involved the use of a wide range of strategies [zie hiervoor]. The lesson sequence then gives students opportunities to try and apply their revised conceptions in a range of ways. This may involve practical construction tasks, imaginative writing tasks or more conventional textbook problems to solve. At the end of the lesson sequence classes are given the opportunity to review the extent and ways in which their thinking has changed. The earlier posters may be modified or new ones constructed and compared with the earlier ones.”*

3 Bevorderen van een veilige leeromgeving – *“A learning environment which requires students to make their ideas explicit and to test out new ways of thinking could be very threatening. If students’ efforts are evaluated too early by the teacher or by other students then they will tend not to experiment but want to be told, thus possibly short-circuiting the knowledge construction process. Setting up such an environment in classes has been attempted by encouraging students to express their ideas in an organised way through group work, poster display, etc. It has also required teachers in many cases to change their class discussion management routines quite radically, avoiding closed questions, accepting a range of suggestions from a class without requiring premature resolution of a point.”*

4 Werken in kleine groepen – *“The importance of talk in enabling learners to represent their ideas to themselves has been recognized for years. Small groups of about four students form the structural unit around which the scheme of activities takes place. (...)”*

5 Gebruik van contexten – *“As far as possible the learning tasks were chosen to be set in contexts which were meaningful to students. (...) The contexts provided for learning may be important*

in maintaining attention, facilitating later applicability of the conceptions and hence breaking down the possible divide between school science and everyday knowledge.”

Van deze kenmerken is, naar mijn idee, de bevordering van een veilige leeromgeving het allerbelangrijkst. Hoe vaak zie je discussies niet volledig de mist ingaan, en mensen dichtslaan, als de omgeving niet als veilig wordt ervaren. Als mensen niet echt naar elkaar luisteren, alleen hun gelijk willen halen, is gezamenlijke meningsvorming niet meer mogelijk. Dus zo ook in de klas. Overigens is het interessant deze structuur van figuur 94 te vergelijken met die van figuur 40. Natuurlijk zijn er overeenkomsten, maar er is ook een groot verschil. In het ene geval is de structuur duidelijk gericht op het gestructureerd onderwijzen van nieuwe leerstof, in het andere op een gestructureerd proces van gemeenschappelijke begripsontwikkeling. Resteert uiteraard de vraag of dat ook nog enigszins succesvol is verlopen! Kortom, werkte het ook?

9.3.5 Deeltjes volgens CLISP

Deze vraag valt het best te beantwoorden aan de hand van een voorbeeld. Daarvoor kies ik de behandeling van een elementair deeltjesmodel aan 14-jarige kinderen.²⁷⁶ Een probleem dat we al eerder langs hebben zien komen, met name voor wat betreft de beschrijving van de begripsproblemen die dit kan oproepen bij leerlingen.

Figuur 95 geeft een overzicht van de lessenserie. Deze start met een aantal demonstraties om de aandacht te richten op de verschillende eigenschappen van materie. Dan wordt een aantal activiteiten uitgevoerd, die leerlingen moeten beschrijven en verklaren, om op deze manier hun denken te expliciteren. Daarna voeren leerlingen een activiteit uit die hun focuseert op het idee dat je, om zaken te kunnen verklaren, op zoek gaat naar patronen in de beschikbare gegevens. Vervolgens passen zij dit toe in een aantal activiteiten, wat moet resulteren in hun formulering van eigenschappen die kenmerkend zijn voor vaste stoffen, vloeistoffen en gassen. Dit resulteert vervolgens in de kernopdracht van figuur 96. Het blijkt dat alle leerlingen op grond van deze opdracht aankomen met ‘deeltjesverklaringen’. Het blijkt echter dat in deze verklaringen steeds macroscopische eigenschappen worden toegekend aan de deeltjes. *“A series of demonstrations and discussions are then undertaken to help students explore each of these factors in turn and to promote a development in their models through a consideration of evidence and alternative models. (...) In the final sequence of the unit a discussion is held on the features of the model about which there is a consensus and the school science view is presented. The students are then asked to use the developed model to explain a range of everyday phenomena including some of the phenomena which were studied at the beginning of the unit. In this way students revisit their earlier ideas represented on posters and consider the way their models have changed.”*

De deelnemende docenten waren over het algemeen heel tevreden. Zij hadden er heel veel van geleerd, vonden het wel heel hard werken, maar waren aangenaam verrast

²⁷⁶ CLISP (1987). *Approaches to Teaching the Particulate Theory of Matter*. Leeds: CSSME.

K. Johnston (1990). Students' responses to an active learning approach to teaching the particulate theory of matter. In: P.L. Lijnse, P. Licht, W. de Vos & A.J. Waarlo (Eds.). *Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic Particles*. Utrecht: CD-β Press.




ORIENTATION	<i>Teacher demonstrations</i> of some eye-catching and thought provoking properties of substances.
ELICITATION OF IDEAS	<i>Circus.</i> Students work in pairs studying a range of phenomena and explaining them on their own terms, for example, how smell reaches you, air in syringe is squashy, loaded wire stretches. <i>Feedback.</i> The pairs join in fours to produce a poster giving explanation. Posters are displayed, presented and discussed.
RESTRUCTURING <i>Theory making</i>	<i>Group work.</i> Students are involved in some simulations of theory making and testing including the solution of a murder mystery. <i>Class review.</i> The processes involved are reviewed in order to consider how evidence is used, how solutions are generated and checked.
<i>Patterns of properties</i>	<i>Circus.</i> Students work in pairs reviewing the properties of a wide range of solids, liquids and gases. <i>Class review.</i> A consensus pattern of properties of solids, liquids and gases is produced.
<i>Theory generation</i>	<i>Group work.</i> Students discuss what ice, water and steam might be like inside. Posters are produced which are displayed, presented and discussed.
<i>Theory shaping</i>	Issues emerging from the students’ models are focussed on in a responsive way by the teacher using demonstrations, group work and discussion, working towards a consensus view. Emerging issues: (a) Particles are invariably the basis of student models. (b) Properties of the particles are used to account for properties of the substance, e.g. air – squashy molecules. (c) What is between the particles? Notion of continuity of substance maintained by suggesting air is between particles. (d) What keeps particles moving? (e) What holds particles together?
APPLICATION	<i>Circus.</i> Students are given opportunities to try out their particle model in order to explain some new situations.
REVIEW	<i>Group work and class review.</i> Students revisit earlier posters and comment on the changes in their explanations.

Figuur 95. De structuur van de CLISP-lessenserie over de structuur der materie.

door de inbreng van en de deelname van de leerlingen aan de discussies. Er was duidelijk sprake van een belangrijke toename in mate van actief leren, waarin nu met name aandacht was voor leerproblemen die anders nooit de oppervlakte bereiken. Ook de leerlingen waren hier over het algemeen heel tevreden over. Er werd naar hen geluisterd en ze voelden zich serieus genomen. Kortom, de aanpak leek op veel belangrijke punten een duidelijk succes te zijn, al vroeg het van de docenten wel de gewenning van een aantal keren uitvoeren. Maar dat is normaal in dit soort vernieuwingsactiviteiten, net zoals de vermelde positieve ervaringen.

A final focus for theory making

This could be achieved by drawing attention to the three states of a very common material – water. The teacher might set out on the bench:

steam	water	ice
		
a kettle boiling	a beaker of water	ice cubes

“Ice, water, steam – it’s all the same stuff... and yet it’s so different. Ice – a solid. Water – a liquid. Steam – a gas. When ice melts to water – nothing extra is added – and yet water is so different from ice. How might this same stuff be differently arranged inside to give the contrasting properties of solid, liquid and gas.”

“Imagine that you could put on a pair of microscopic spectacles. Which would allow you to see right inside the ice, water and steam. Build up your own theory as to what must be like inside. A theory which would apply to *any* solid, liquid or gas.”

Note: It must be emphasized that, at this stage, *no* mention is made, by the teacher, of particles, atoms or molecules. If pupils have used these words, earlier in the scheme, the teacher simply accepts them as ideas which are as valid (but no more so) than any others put forward by the class.

Figuur 96. De kernopdracht uit de docentenhandleiding.

Toch was er ook een teleurstellende uitkomst. Uit een, overigens zeer bescheiden opgezet, vergelijkend onderzoekje tussen de CLISP-aanpak en een ‘traditionele’ aanpak kwam naar voren dat “*there was little difference between groups overall in the conceptual change produced.*” Gegeven dat dit wel de centrale opzet van de hele onderneming is geweest, vraagt dit toch om een verklaring. Naar mijn idee ligt die ook voor de hand, al besteden Driver c.s. daar geen aandacht aan. Dit probleem ligt ingebakken in hun uitwerking. Op het moment dat je leerlingen vraagt om ‘binnenin’ stoffen te kijken, dan kunnen ze, zoals eerder betoogd, niets anders zien als kleine ‘brokjes’. Sterker, deze

zienswijze wordt in eerste instantie zelfs opgeroepen en ingeslepen. Vervolgens moet die dan ‘recht gezet worden’ ten gunste van het ‘goede model’, maar de argumentatie en empirische onderbouwing daarvoor kan niet anders zijn dan de gebruikelijke. Ofwel, grotendeels gebaseerd op de autoriteit van de docent. Kortom, er is geen reden om ten aanzien hiervan nu een meer succesvolle conceptuele introductie te verwachten.

Dit brengt me tot de conclusie dat de CLISP-aanpak een prachtig voorbeeld is van een zeer verdienstelijk project waarin alle aandacht gericht was op de vormgeving van een vernieuwende onderwijspsychologisch gemotiveerde didactiek, maar helaas gepaard gaande met veronachtzaming van de evenzo noodzakelijke inhoudelijke conceptuele analyse. Een gang van zaken die ik eerder al kenmerkend heb genoemd voor de Angelsaksische organisatievorm van het didactisch onderzoek (hoofdstuk 1).

9.3.6 Hoezo constructivisme?

Concluderend kunnen we stellen dat het probleem van de inzichtelijke introductie van een deeltjesmodel, in zekere zin een eerste kwantumsprong, door CLISP niet echt is opgelost. Dit probleem hield toen veel mensen bezig²⁷⁷, en is nog steeds niet echt opgelost²⁷⁸. Later kom ik daar nog op terug. Maar daarnaast deed zich de vraag voor of de activerende, open, bottom-up, aanpak, die kenmerkend leek te zijn voor constructivistisch onderwijs, wel de meest effectieve is. Natuurlijk heeft die aanpak veel pluspunten, maar is ze, uit het oogpunt van begripsvorming, ook de meest efficiënte? Daar werden steeds meer vraagtekens bij gezet, zozeer zelfs dat Millar het als volgt formuleerde: *“The constructivist model of learning has (invalidly) become associated with a particular model of instruction. This association is not logically entailed and may be counterproductive.”*

Millar²⁷⁹ betoogt dat er onderscheid gemaakt moet worden tussen een constructivistisch model voor leren, en een daarop gebaseerd model voor onderwijzen. *“A valuable insight from this model [of learning] is that concept learning is understood as a reconstruction of meaning rather than simply the accretion of new ideas; this in turn may go some way towards explaining why promoting concept change is difficult.”* Op basis van dit model voor leren hebben veel constructivisten, zoals CLISP, een model voor onderwijzen opgesteld, waarin de fasering van het instructieproces ruwweg op dezelfde wijze verloopt als de veronderstelde stappen die je moet nemen in het leerproces. *“A constructivist model of learning does not, however, logically entail a constructivist model of instruction.”* Dit is gelijksoortige kritiek als die van Ogborn, toen we het verloop van een instructieproces wilden modelleren op grond van wetenschapsfilosofische argumenten. *“Indeed this must be so or the constructivists would face a major problem in explaining how most people who might be said to have an understanding of science have come to acquire it. For it is very clear that most of us who think we*

²⁷⁷ P.L. Lijnse, P. Licht, W. de Vos & A.J. Waarlo (1990) (Eds.) *Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic Particles*. Utrecht: CD-β Press.

R.J. Genseberger (1989). Het ontwikkelen van een model-begrip bij leerlingen van 15-16 jaar. *TD-β*, 7, 192-208.

²⁷⁸ M. Meijer (2011). *Macro-Meso-Micro Thinking with Structure-Property Relations for Chemistry. An Explorative Design-Based Study*. Utrecht: FIsme.

²⁷⁹ R. Millar (1989). Constructive criticisms. *International Journal of Science Education*, 11, 587-596.

'understand' some science concepts did not arrive at this understanding by experiencing teaching programmes structured on constructivist lines. I therefore conclude (since I am persuaded by the constructivist model of learning itself) that the process of eliciting, clarification and construction of new ideas takes place internally, within the learner's own head. This occurs whenever any successful learning takes place and is independent of the form of instruction.

The point I am making here is not merely a fine logical distinction but has practical implications. Rather than propose a constructivist model of instruction, it might equally well be argued that a consequence of the constructivist model of learning is that science should be taught in whatever way to engage the active involvement of learners, as this is most likely to make them feel willing to take on the serious intellectual work of reconstructing meaning. One might suggest that whatever success teachers feel themselves to have with constructivist teaching schemes may come as much from the active learning methods they use as from the mapping of a constructivist model of learning on to a model of instruction. The constructivist model of learning does not carry any necessary message about models of instruction."

Dit lijkt me een overtuigende argumentatie. Op dezelfde manier kun je echter ook argumenteren dat de activerende werkvormen niet essentieel zijn, zolang je er maar in slaagt leerlingen op een goede manier aan het denken te zetten. En juist dat is door een aantal anderen geprobeerd. Is het nu het een of het ander? Of geen van beide? Laten we daarom nu gaan kijken naar didactische benaderingen, die qua vormgeving en uitwerking aanzienlijk minder spectaculair waren, maar misschien wel zo effectief!

9.4 Directe instructie, 'active engagement' en 'inquiry learning'

9.4.1 Directe instructie, constructivistisch geïnspireerd

De Socratische dialoog

*"Since the days of Socrates, teachers have known that it is one thing to bring students to acquire certain ways of acting – be it kicking a football, performing a multiplication algorithm, or the reciting of verbal expressions – but quite another to engender understanding."*²⁸⁰ Het was juist het laatste waar Socrates goed in was, zo goed zelfs dat we nog steeds spreken van een Socratische dialoog als een methode bij uitstek om leerlingen mee te nemen in een productief, interactief en inzichtsvol verlopend leerproces. Een proces dat uitgaat van de leerling, en niet uitmondt in misconcepties. Een goede Socratische dialoog slaagt daar ook in, en juist daarom is het ook zo moeilijk. *"It should be noted that the Socratic method per sé is a discussion process whereby a facilitator promotes independent, reflective, and critical thinking. The conversation that results from using the Socratic method is known as Socratic dialogue. The general goals of a Socratic dialogue are to hold students accountable for learning, make students' conceptual understanding and thinking processes clear to the teacher and other students, help all students understand how knowledge is constructed from experience, and build autonomy and self-confidence in students' own thinking in relation to a particular question that is undertaken. The teacher never badgers a student or criticizes answers. He or she merely asks students to explain their*

²⁸⁰ E. Von Glasersfeld (1989). Cognition, construction of knowledge and teaching. *Synthese*, 80, 121-140.

reasoning which, if flawed, can be quickly corrected by questions seeking clarification.”²⁸¹

1. Start with the concrete and remain in contact with concrete experiences.
2. Ensure full understanding between participants.
3. Adhere to a subsidiary question until it is answered.
4. Strive for consensus.

Figuur 97. Vier essentiële kenmerken van een Socratische groepsdialoog²⁸¹.

Ik noem deze Socratische dialoog het eerst omdat deze, qua vormgeving, zo ongeveer het tegengestelde is van het CLISP-model. Een volledig klassikale situatie, waarin de docent centraal staat, maar waarin wel op een uitgekiende constructivistische wijze wordt gewerkt aan begripsontwikkeling. Waarmee inderdaad geïllustreerd is dat je met constructivistisch geïnspireerd onderwijs nog alle kanten op kunt. Toch is er één randvoorwaarde. Het leerproces vindt weliswaar altijd construerend plaats, hoe het onderwijs ook gegeven wordt, maar als je wilt voorkomen dat dat onderwijs resulteert in onbedoelde misconcepties, dan zal je op een of andere manier mogelijkheden tot communicatie en feedback moeten inbouwen. En dat is dan ook het gemeenschappelijke kenmerk van de diverse ‘research-based instructional strategies’ die vooral in het pragmatische Amerika uit de grond zijn geschoten²⁸². De meest spraakmakende daarvan wil ik nu kort de revue laten passeren.

Het belang van ‘ancillary knowledge’

“In quantitative sciences, such as physics, special concepts and associated principles are logically the basic building blocks of the knowledge used to deduce important consequences, make predictions, and solve problems. However, mere definitions of concepts or statements of principles are psychologically far too primitive building blocks to permit the performance of complex intellectual tasks.

To be functionally useful, a conceptual building block (or ‘concept schema’) must include a concept accompanied by the ancillary knowledge needed to make the concept effectively usable. In particular, this knowledge must be sufficient to ensure that the concept can be used reliably, that is, without errors or ambiguities; easily and rapidly, so that use of the concept leaves adequate attention and time available to deal with other aspects of complex tasks; and flexibly, so that the concept can be used reliably in diverse and unfamiliar contexts. Similar comments can be made about a principle relating previously defined concepts.” Dit is, in het licht van al het voorgaande, een opmerke-

²⁸¹ C.J. Wenning (2005). Whiteboarding & Socratic dialogues: Questions and answers. *Journal of Physics Teacher Education Online*, 3, 3-9.

R.R. Hake (1992). Socratic pedagogy in the introductory physics lab. *Physics Teacher*, 30, 546-552. Updated version (4/27/98) online at <http://bit.ly/9tSTdB>.

²⁸² C. Henderson & M.H. Dancy (2009). The impact of physics education research on the teaching of introductory quantitative physics. *Proceedings Physics Education Research Conference*. In dit artikel worden 24 verschillende ‘research-based instructional strategies’ onderscheiden. Het is frappant hoe in Amerika onmiddellijk allerlei ‘research-based’ methoden op de markt worden gebracht, terwijl er, bij mijn weten, in ons land niet één is die dit claimt.

lijk geluid. In feite legt Reif²⁸³ hiermee de oorzaak van begripsproblemen niet bij de voorkennis van de leerling, maar bij tekortschietend onderwijs. “*The ancillary knowledge, required to make a concept or principle effectively usable, is far from trivial. Striking evidence supporting this statement comes from several recent studies. [Zoals we hebben beschreven in hoofdstuk 8.] These show that many students, after having studied physics concepts and having been familiar with them for an appreciable time, may nevertheless lack the ancillary knowledge needed to use such concepts reliably. Correspondingly, they exhibit major misconceptions and errors.*”

Zijn remedie volgt hieruit uiteraard vanzelf, namelijk meer aandacht besteden aan deze conceptuele ‘hulpkennis’. Ik denk overigens dat Reif grotendeels gelijk heeft met zijn analyse dat veelal veel te weinig aandacht besteed wordt aan het leren gebruiken van begrippen.

De daarvoor belangrijkste hulpkennis, aldus Reif, is de kennis die nodig is om het begrip goed te kunnen interpreteren. Hij omschrijft de elementen daarvan als volgt.

1 Specificatie

Specificatie van het begrip:

- Samenvattende omschrijving: bijvoorbeeld een definitie in woorden of formulevorm;
- Informele omschrijving: geeft in feite de uitleg van wat het begrip eigenlijk inhoudt;
- Procedurele specificatie: geeft een stap-voor-stap procedure voor hoe het begrip te identificeren of weer te geven (figuur 98);
- Toepassingscondities: maakt expliciet onder welke condities het begrip wel of niet toegepast kan worden.

Specificatie van begripswaarden:

- Over wat voor soort grootheden gaat het begrip en in welke eenheden en symbolen worden die uitgedrukt;
- Wat zijn de mogelijke waarden en wat zijn de typische waarden.

Specificatie van onafhankelijke variabelen:

- Wat voor onafhankelijke variabelen zijn bepalend voor het begrip en hoe worden die symbolisch uitgedrukt;
- Wat zijn de relevante eigenschappen van deze onafhankelijke variabelen.

2 Hoe dit begrip te gebruiken

- Het begrip kunnen identificeren en weergeven voor verschillende mogelijke waarden van de onafhankelijke variabelen, of van hun eigenschappen.
- Dit kunnen doen voor verschillende mogelijke symbolische representaties, in woorden, beelden, grafieken, of wiskundige betrekkingen.

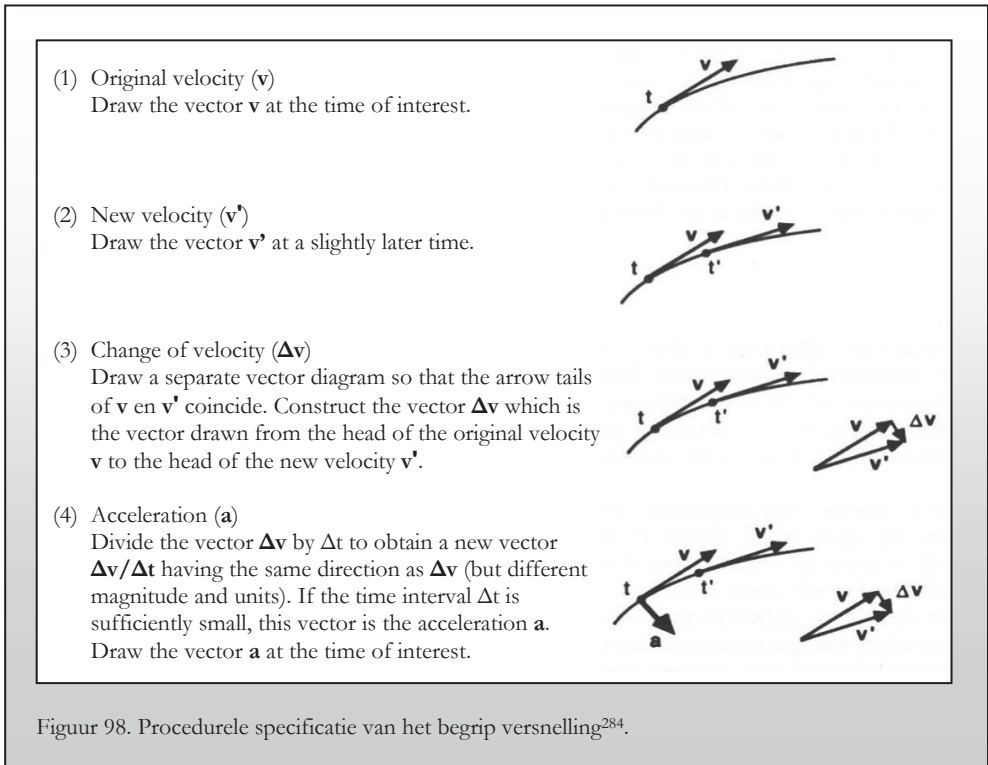
3 Voorkomen van fouten

Gewaarschuwd zijn voor de meest voorkomende fouten:

- Verwarring van een begrip met een ander begrip (vanwege een overeenkomstig symbool of vanwege lektentaal);

²⁸³ F. Reif (1985). Acquiring an effective understanding of scientific concepts. In: L. West & L. Pines (Eds.), *Cognitive Structure and Conceptual Change* (pp. 133-151). New York: Academic Press.

- Verwarring van een begrip met een ander begrip dat een ander aspect van dezelfde situatie beschrijft;
- Fouten in specificatieregels;
- Fouten in toepassingscondities;
- Fouten in specificatiewaarden;
- Fouten in de specificatie van de onafhankelijke variabelen.



Figuur 98. Procedurele specificatie van het begrip versnelling²⁸⁴.

In deze omschrijving herkennen we het onderscheid tussen ‘declarative knowledge’ en ‘procedural knowledge’ uit de cognitieve psychologie. Uit de voorbeelden die Reif geeft, blijkt dat zijn conclusies in belangrijke mate gebaseerd zijn op analyses die passen binnen het zogenoemde ‘expert-novice’ paradigma, dat wil zeggen uit analyse van verschillen ten aanzien van het handelen met concepten tussen experts en beginners. Beide zaken geven aan dat zijn beschouwing niet zozeer epistemologisch/constructivistisch geïnspireerd is, maar veel meer psychologisch/cognitief van aard is. Overigens kunnen we zijn conclusies ruwweg samenvatten met de uitspraak dat in de didactiek over het algemeen veel te weinig wordt stil gestaan bij alle aspecten die samenhangen met het ‘begrijpen van een begrip’. Veel van deze ‘ancillary knowledge’ moeten leerlingen maar al doende zelf ontdekken. Vooral ook omdat we er gewoonlijk veel te slordig mee omgaan, dat wil zeggen leerlingen onbewust teveel als ‘expert’ benaderen en te weinig als ‘novice’. “*Common ways of teaching scientific concepts contribute to students’*

conceptual difficulties. First, a scientific concept is usually introduced by verbal or mathematical definitions that describe the concept by some characterizing features, but do not specify the actual procedures necessary to identify or to construct the concept. Hence students must infer such procedural knowledge themselves and are often left with interpretation processes that are inadequate or faulty. Second, concepts are often introduced without making explicit connections with students' previous conceptions, and without having students adequately compare and contrast unfamiliar scientific concepts with pre-existing notions. (...) The preceding student difficulties and inadequacies of current teaching methods suggest the following instructional principles for teaching scientific concepts more effectively: (a) Procedural knowledge for interpreting a scientific concept should be explicitly taught together with descriptive knowledge about the concept; (b) new knowledge should be taught in a coherent form so that it can be easily remembered, retrieved and contrasted with pre-existing fragmented knowledge; (c) instruction should be explicit to facilitate knowledge integration; and (d) new knowledge should be explicitly contrasted with prior knowledge in order to remove inconsistencies, to ensure the coherence of the student's new knowledge and to minimize interference from conflicting prior knowledge."

Reif et al.²⁸⁴ hebben deze werkhypothesen getest in een onderwijsexperiment en zij rapporteren inderdaad goede resultaten. Naast het beschreven belang van beschrijvende en procedurele begripsspecificatie, vraagt Reif aandacht voor nog een vorm van begripsspecificatie, die rechtstreeks volgt uit de expert-novice manier van analyseren. Het blijkt dat experts hun kennis vaak op een efficiëntere manier hebben opgeslagen dan novices, en derhalve ook op een efficiëntere manier weer kunnen oproepen. *"Efficient concept interpretation can be achieved by compiling a repertoire of knowledge about special cases of the concept. An encountered situation which matches such a special case can then be recognized almost automatically. Hence such "compiled knowledge" can often be used to interpret the concept intuitively without the need for deliberate processing. For example, most physicists have compiled knowledge about the acceleration of a particle in some special cases, such as that of circular motion with constant speed. When encountering a particle moving in this way, they conclude that the particle's acceleration is directed toward the circle's center. All this is quickly done without any need to invoke the definition of acceleration or to engage in reasoning based on it."* Het leren van natuurkunde komt dus ook vaak neer op het leren kennen en herkennen van een aantal prototypische situaties, in het geval van het begrip versnelling, bijvoorbeeld, bestaande uit 'de eenparige beweging', 'de eenparig versnelde beweging', 'de eenparige cirkelbeweging'. Het herkennen van zo'n situatie roept dan meteen een samenhangend kennisbestand van krachtwerking en bewegingsbeschrijving op. Kuhn's inwijding in een paradigma komt voor een belangrijk deel neer op het leren van dit soort prototypische situaties. Bij het onderwerp 'probleemoplossen' zal ik hier verder op ingaan.

Uit deze beschrijving komt, zij het impliciet, een heel andere, meer technologische, onderwijsvisie naar voren als in de kindvriendelijke CLISP-visie, al wordt ook hier wel degelijk aandacht besteed aan de preconcepties van leerlingen. Hier is echter veel meer

²⁸⁴ P. Labudde, F. Reif & L. Quinn (1988). Facilitation of scientific concept learning by interpretation procedures and diagnosis. *International Journal of Science Education*, 10, 81-98.

F. Reif (1987). Instructional design, cognition and technology: Applications to the teaching of scientific concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 24, 309-324.

F. Reif (1995). Millikan Lecture 1994: Understanding and teaching important scientific thought processes. *American Journal of Physics*, 63, 17-32.

sprake van daarop specifiek toegesneden directe instructie. Dit verschil in onderwijsvisie wordt misschien nog wel het meest expliciet geïllustreerd met het volgende citaat: “*Instruction is a problem that requires one to transform a system S (called the student) from an initial state S_i to a desired state S_f where S can do things which S could not do initially. This transformation process can schematically be expressed in the form: $S_i \rightarrow S_f$.*”

Coherentie en kritische details

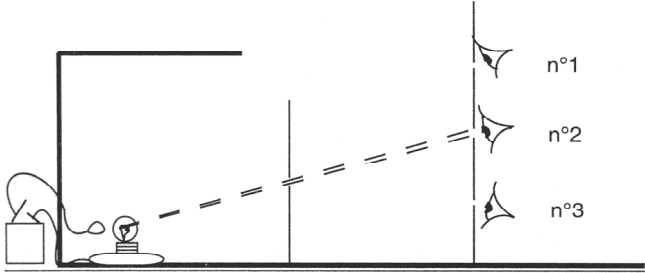
Een benadering die hier enigszins bij aansluit is te vinden in het werk van Viennot en haar groep²⁸⁵. Ik wil dat hier vermelden, ook al is het ondoenlijk om hier in kort bestek recht te doen aan alle facetten van hun werk. Het overeenkomstige ligt in het zoeken naar wegen om juist de inhoudelijke instructie te verbeteren. Het verschil is dat zij dit niet zoeken in een cognitief psychologische richting, maar puur vakinhoudelijk en vakdidactisch. Hun werkwijze is ruwweg als volgt. Door middel van vragenlijstonderzoek komen zij niet alleen op het spoor van begripsproblemen en misconcepties, maar exploreren zij ook de omvang en diepgang daarvan. Als overkoepelend resultaat geven de eerder beschreven ‘common ways of reasoning’ daar een beeld van. Deze problemen worden vervolgens serieus genomen en wel in die zin dat dit evenzovele aanwijzingen zijn dat het onderwijs om een of andere inhoudelijke reden niet heeft beantwoord aan zijn doel. Of, in andere woorden, er is sprake van een vakdidactisch probleem. Een probleem dat enerzijds vraagt om reflectie, met name op veel ingeslepen gewoonten in ons onderwijs. En anderzijds om een experimentele aanpak om te kunnen komen tot een oplossing en daarmee tot groei van vakdidactische know-how. Hun aanpak bestaat allereerst uit een grondige conceptuele analyse van de mogelijke oorzaak van de begripsproblemen. Vaak is er sprake van incoherentie, dat wil zeggen dat een gebruikelijke didactiek volstrekt helder lijkt voor de docent, maar dat niet blijkt te zijn voor de leerling. Het gaat dan vaak om de ‘kritische details’. Ogenscheinlijk onbelangrijke zaken, die de docent of methodeschrijver volledig over het hoofd ziet of als volstrekt duidelijk interpreteert, maar de leerling op het verkeerde been blijkt te zetten. Deze details opsporen, het op grond daarvan ontwerpen van een inhoudelijk-didactische remedie en het uittesten daarvan, is de kern van hun werk. “*Governing every sequence is a revision of the content matter and an examination of common trends of reasoning. That double analysis is strongly orientated by the idea of making coherence an essential part of the subject being taught, and, implicitly, a source of intellectual pleasure. (...) All of the studies stress the importance of coherence; this implies the need for a linkage of concepts and/or activities. That physics teaching should set itself such an objective will not seem unreasonable to anyone. What we are trying to do is to make sure that coherence is given considerable attention. (...) At any rate, throughout this book we have suggested how one can reduce the sheer incoherence that common practice often leads dangerously close to.*”

Een klein voorbeeld is gegeven in figuur 99. Uit veel onderzoek is naar voren gekomen dat het begrijpen van hoe we zien, geen triviale zaak is. Veel mensen denken dat we iets kunnen zien, als het maar baadt in licht, zonder dat verder te analyseren. Of ze

²⁸⁵ L. Viennot (2003). *Teaching Physics*. Dordrecht: Kluwer.
L. Viennot (2001). *Reasoning in Physics*. Dordrecht: Kluwer.
L. Viennot (2014). *Thinking in Physics*. Dordrecht: Kluwer.

stellen zich voor dat ‘kijken naar’ zoiets is alsof ‘iets’ uit het oog informatie vergaart omtrent het ‘bekeken’ object. *“It is quite common even for adults with a good knowledge of science, such as trainee junior-highschool teachers, to answer as if light were an object visible in and of itself, i.e. from anywhere. In view of these findings, it was deemed necessary to work on the necessary condition of vision at the beginning of the optics course: the light emitted from the object that is seen must enter the eye.”* Figuur 99 demonstreert dan hoe in hun lessenserie het ‘zien van iets’ uitgebreid onderwerp van onderwijs is, terwijl dit normaliter bijna als iets vanzelfsprekends wordt afgedaan (of beter gezegd, niet wordt gedaan). Op grond van hun werk is onder andere de optica-syllabus in Frankrijk, het verplichte draaiboek voor alle docenten, drastisch veranderd. Naast optica hebben zij onder andere aandacht besteed aan mechanica, geluid, vloeistofdruk, superpositie van elektrische velden, elektrostatica en dynamica, superpositie en voortplanting van golven, en aan kleurverschijnselen. Maar ook aan zaken als: grootheden, variabelen, referentiesystemen, etc. Kortom, bijna alle aspecten van de natuurkunde. Bijzonder is met name hun originele voorstel om bij daarvoor in aanmerking komende onderwerpen gebruik te maken van een ‘mesoscopisch niveau’, dat wil zeggen een verklaringsniveau dat in ligt tussen het macroscopische en het gebruikelijke deeltjesniveau. Figuur 100, ten slotte, geeft een voorbeeld van hun uitgebreide gebruik van ‘free-body’-diagrammen bij de behandeling van mechanica. Een techniek die momenteel overigens ook door veel anderen wordt gebruikt. Het is een goed voorbeeld van hoe analyse van begripsproblemen kan leiden tot daarop toegespitste didactische aanpassingen.

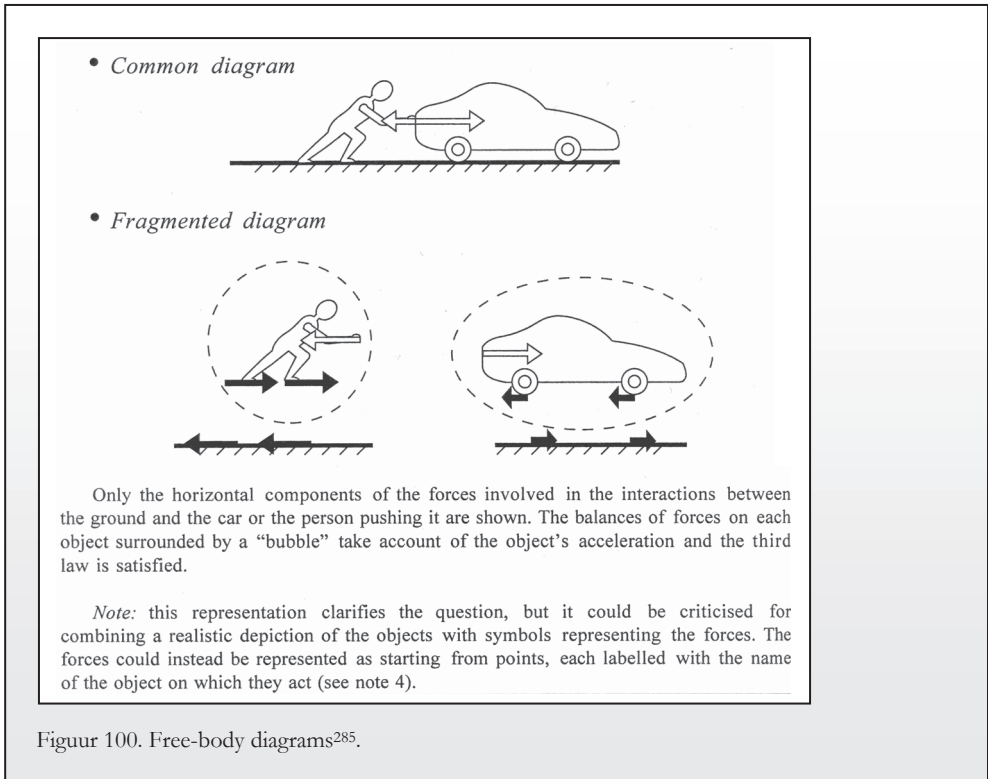
• *Question* : what will you see through the small hole in the first screen if you place your eye behind each of the holes (1, 2, and 3) when the bulb is lit?



• *Correct answer*: through hole n°1 you will see the base of the bulb, through hole n°2 you will see the bulb, through hole n°3 you will see only the black background, which diffuses very little light, so that you can say you see “black” or “nothing”.

• *Common answer*: more than 50% of the adult groups questioned answered that from hole n°3, they would see something bright. One frequent commentary: they would see “the bright hole”.

Figuur 99. De ‘zichtbaarheid’ van licht²⁸⁵.



9.4.2 Actieve betrokkenheid, constructivistisch geïnspireerd

‘Peer instruction’ en ‘concept cartoons’

Dit zijn twee ‘benaderingen’ die ook in ons land enige bekendheid hebben verworven. Qua ontstaan hebben ze niets met elkaar te maken, maar qua doel zijn ze gelijksoortig, namelijk verdieping van het te bereiken inzicht door didactisch adequater om te gaan met pre- en misconcepties. Vooral door het stimuleren van actieve discussies over conceptuele problemen. En in dat opzicht kunnen ze, mijns inziens, worden opgevat als in elkaars verlengde te liggen.

‘Peer Instruction’²⁸⁶ is ontwikkeld op Harvard, door Mazur, maar wordt inmiddels op een behoorlijk aantal Amerikaanse universiteiten gebruikt. De aanleiding voor het ontwikkelen was de bevinding van Mazur dat ook zijn topstudenten dezelfde begripsproblemen, in het bijzonder met mechanica, bleken te hebben als gerapporteerd waren in de literatuur. “*Peer instruction modifies the traditional lecture format to include questions designed to engage students and uncover difficulties with the material. (...) Peer instruction engages*

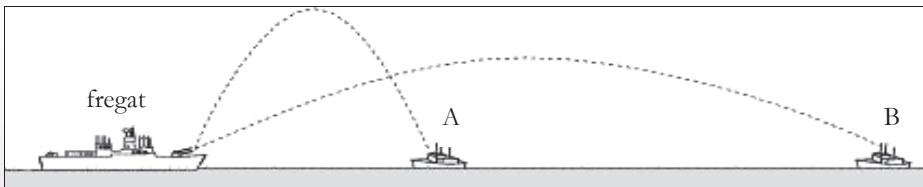
²⁸⁶ E. Mazur (1996). Memorization or understanding: Are we teaching the right thing? Verslag WND-conferentie.

C.H. Crouch & E. Mazur (2001). Peer instruction: Ten years of experience and results. *American Journal of Physics*, 9, 970-977.

H. Bouwmans (2010). Peer Instruction. Verslag WND-conferentie.

students during class through activities that require each student to apply the core concepts being presented, and then to explain those concepts to their fellow students. Unlike the common practice of asking informal questions during a lecture, which typically engages only a few highly motivated students, the more structured questioning process of PI involves every student in the class. (...) A class taught with PI is divided into a series of short presentations, each focused on a central point and followed by a related conceptual question, called a ConcepTest [figuur 101], which probes students' understanding of the ideas just presented. Students are given one or two minutes to formulate individual answers and report their answers to the instructor. Students then discuss their answers with others sitting around them; the instructor urges students to try to convince each other of the correctness of their own answer by explaining the underlying reasoning. During the discussion, which typically lasts two to four minutes, the instructor moves around the room listening. Finally, the instructor calls an end to the discussion, polls students for their answers again (which may have changed based on the discussion), explains the answer, and moves to the next topic."

Een fregat schiet tegelijkertijd twee kanonskogels af op twee vijandige schepen. De kogels volgen de baan die in het plaatje is te zien.



Welk schip wordt als eerste geraakt? Verwaarloos de luchtwrijving.

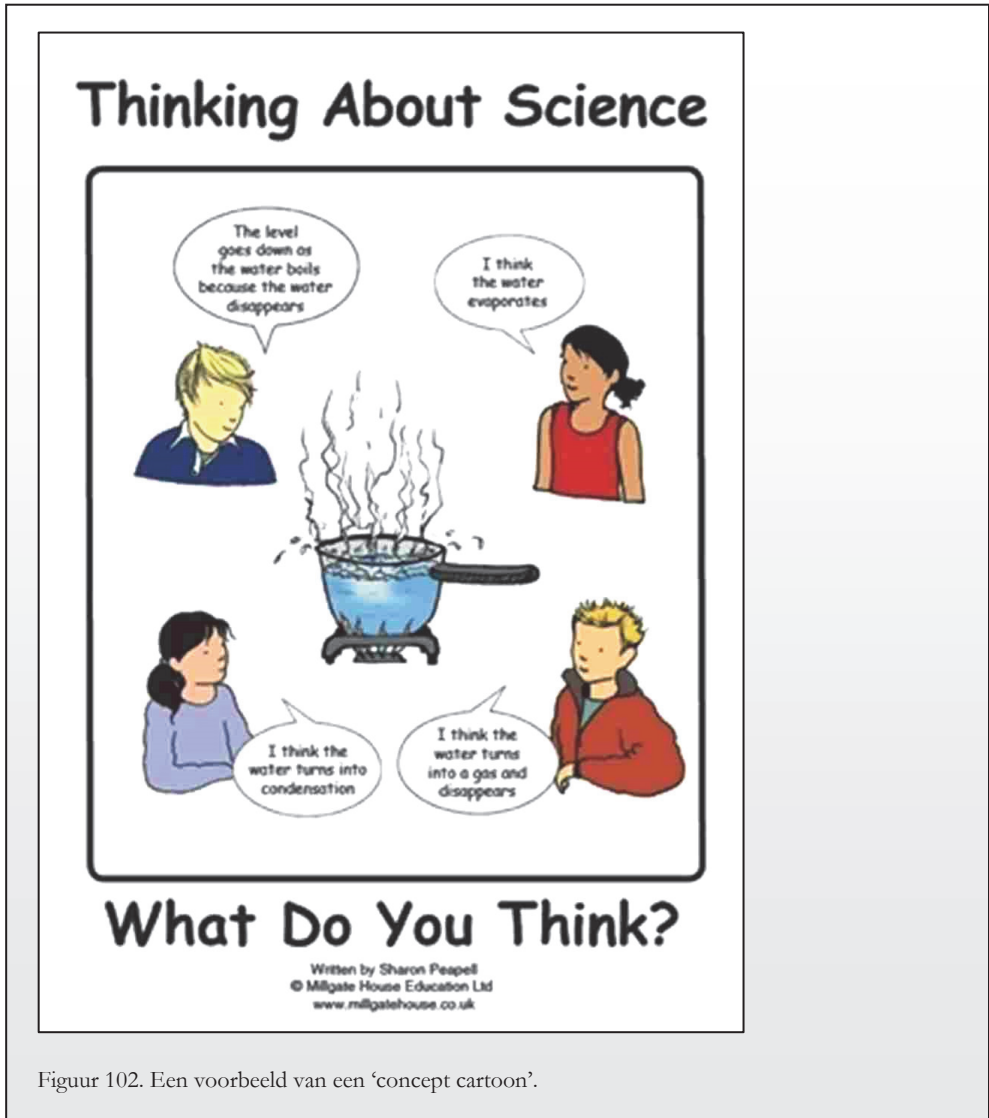
- A schip A
- B schip B
- C beide tegelijkertijd
- D dat kun je niet weten

Figuur 101. Een voorbeeld van een ConcepTest²⁸⁶.

Figuur 102 is een voorbeeld van een 'concept cartoon'²⁸⁷ en daaruit blijkt direct de overeenkomst. Deze cartoon zou immers zo als ConcepTest kunnen worden ingezet. Het is een middel om in de klas een conceptuele discussie te kunnen aanzwengelen. Een discussie die eventueel kan leiden tot een gericht experiment om nog resterende meningsverschillen te beslechten. In feite benadrukken zowel PI als CCs het belang van actieve betrokkenheid van leerlingen, op een manier die zonder veel moeite valt in te passen in een hoofdzakelijk klassikale manier van lesgeven. Ofwel, het zijn methoden die de didactische verbetering vooral zoeken in de vormgeving van het onderwijs en niet zozeer in aangepaste inhoud. Alhoewel het maken van goede cartoons en Con-

²⁸⁷ B. Keogh & S. Naylor (2002). Concept cartoons in science education. Verslag WND-conferentie. Inmiddels zijn er via het internet veel van deze cartoons, voor allerlei toepassingen, beschikbaar: <http://www.conceptcartoons.com>.

ceptTests natuurlijk wel de nodige kennis van begripsproblemen, en vooral ook creativiteit, vooronderstelt.



Figuur 102. Een voorbeeld van een ‘concept cartoon’.

*“Peer instruction requires students to be significantly more actively involved and independent in learning than does a conventional lecture class. It is common for some or many students to be initially sceptical about this form of instruction. Consequently, proper motivation of the students is essential. Motivation takes two forms: grading students on conceptual understanding, not just traditional problem solving, and setting the right tone in class from the start (including explaining the reasons for teaching this way).”*²⁸⁶ Deze opmerking weerspiegelt meer algemene lessen, die in alle vernieuwingspogingen steeds weer actueel blijken. Een eerste les is dat actief leren, en

nadruk op kwalitatief inzicht, veel vraagt van leerlingen en dat die alleen bereid zijn daarin te investeren als het ook beloond wordt. En de tweede les is dat het kunnen oplossen van standaardproblemen en conceptueel inzicht, weliswaar verwante maar toch echt verschillende zaken zijn. We kunnen ons afvragen of hier nu ook sprake is van een echte ‘conceptual change’ strategie? Voor zover dat het geval is, gebeurt het in ieder geval niet op een expliciete conflictmanier. In de mogelijke antwoorden op een ConcepTest zijn natuurlijk zowel fysisch juiste, als pre- en misconcepties verwerkt. Door deze tegelijkertijd ter overweging en discussie aan te bieden worden leerlingen gestimuleerd om deze ideeën in relatie tot elkaar te zien, af te wegen en te overdenken. Daarmee wordt dus niet zonder meer eerst een preconceptie versterkt, om die vervolgens door middel van een te creëren conflict af te breken en te gaan vervangen door iets anders. Er is eerder sprake van een strategie die moet resulteren in zorgvuldige afweging van alternatieven en daarmee ook in op te roepen betrokkenheid en nieuwsgierigheid.

Werkt ‘peer instruction’ nu ook? Hier is regelmatig evaluatieonderzoek naar gedaan, onder andere met behulp van de ‘Force Concept Inventory’²⁸⁸. Dit is een zeer bekende vragenlijst die speciaal is ontwikkeld voor het testen van de gebruikelijke mechanica pre- en misconcepties. Gemeten met deze vragenlijst blijkt ‘peer instruction’ inderdaad een behoorlijk positief effect te kunnen hebben op het begripniveau. De toename in de score tussen voor- en natest ligt rond de 20%, tegen ca. 8% voor het traditionele ‘lecture-format’. Begrijpelijk dat deze relatief eenvoudige techniek behoorlijke verspreiding heeft gevonden in de USA. Temeer daar er een speciale website is gecreëerd waarop de ConcepTests en ander hulpmateriaal beschikbaar zijn gesteld. Inmiddels is dit format dan ook uitgebreid tot vele andere cursussen.

‘Peer instruction’ is overigens slechts één voorbeeld van een aantal pogingen tot didactische vernieuwing in de USA²⁸⁹, dat gericht was op het in meer of mindere mate verhogen van de ‘active engagement’, uitgaande van een constructivistische opvatting over leren. De gemeenschappelijke noemer was steeds het bevorderen van actieve betrokkenheid en van samenwerking tussen ‘peers’. Het betrof hier wel steeds onderwijs op college-niveau. Traditioneel gezien bestaat dit uit colleges (lectures), werkcolleges en practica (dus net als bij onze universiteiten), maar de focus van didactische aandacht was meestal toegespitst op één van deze drie.

- ‘Laboratory-based models’²⁹⁰ vervingen de gebruikelijke practica door ontdekkingsgerichte (discovery learning) en op onderzoekend leren (inquiry learning) gerichte experimenten (zie verder).
- ‘Problem-solving models’²⁹¹ vervingen werkcolleges waarin een instructeur pro-

²⁸⁸ <http://galileo.harvard.edu>; <http://galileo.harvard.edu/galileo/course/index.html>. Ook in ons land wordt dit instrument gebruikt, zoals blijkt uit diverse WND-conferentieverslagen.

²⁸⁹ Hier ligt de oorsprong van de (al in hoofdstuk1 genoemde) opkomst van een Amerikaanse natuurkunde-didactiek community Met speciale uitgaven van ‘harde’ tijdschriften als *Physics Review* en *American Journal of Physics*.

²⁹⁰ Voorbeelden hiervan zijn: ‘Tools for Scientific thinking’ (University of Oregon), RealTime Physics (Dickinson College), Socratic Dialogue Inducing Labs (Indiana University).

blemen oplost, door op actief leren gerichte activiteiten, met behulp van (onder andere) zorgvuldig ontworpen werkbladen. Activiteiten die vooral ook het onderlinge samenwerken en natuurkundig redeneren moeten bevorderen.

- ‘Lecture-based models’²⁹², die weliswaar nog steeds uitgingen van onderwijs door middel van colleges, maar waarin wel meer conceptuele interactie werd nagestreefd (zoals in het beschreven PI).

Daarnaast zijn er ook, zogenoemde, ‘full studio models’²⁹³ ontwikkeld, waarin een docent slechts af en toe en dan nog relatief kort aan het woord is. Deze vorm vraagt uiteraard een veel ingrijpender inspanning en vooral ook om meer geld en middelen. Dat laatste geldt zeker voor die benaderingen waarin aan de computer een grote rol wordt toebedeeld (zie verder).

We moeten oppassen deze Amerikaanse toestanden zonder meer te willen vergelijken met ons VWO-natuurkundeonderwijs. Qua vorm is ons voortgezet onderwijs immers per definitie ‘full studio’, ook al zijn daarin natuurlijk nog wel wat verschillen in uitvoering. Qua inhoud is er wel veel overeenkomst met de Amerikaanse collegecursussen en we zouden dus wel kunnen profiteren van alle bedachte experimenten en werkbladen. Eigenlijk moet je deze Amerikaanse inspanningen dus vergelijken met ons universitair natuurkundeonderwijs en dan zien we een behoorlijk verschil. Aan onze universiteiten is immers weinig tot geen extra aandacht voor conceptuele problemen, alhoewel er wel pogingen ondernomen zijn voor een meer activerende didactiek. Misschien is deze sterkere didactische focus, in de USA, op bevordering van inzicht verklaarbaar uit het feit dat hun eerstejaars college-natuurkundecursussen voor een veel bredere groep studenten bedoeld zijn, dan onze eerstejaars natuurkundecolleges, die bovendien ook nog veelal veel minder natuurkundige voorkennis hebben dan onze natuurkundestudenten. Kortom, zij moeten wel, terwijl onze universitaire natuurkunde-opleidingen zich denken te kunnen permitteren de bal bij het VWO te laten liggen.

9.4.3 ‘Inquiry learning’, constructivistisch geïnterpreteerd

Eerder hebben we gezien hoe het constructivisme de bijl legde aan de wortel van ‘discovery learning’. Betekent dat nu dat er, constructivistisch gezien, geen rol meer zou zijn weggelegd voor het zelf ontdekken en experimenteren van leerlingen? Laat ik eerst een terminologische opmerking maken. In de eerste curriculumgolf van de vorige eeuw was er sprake van ‘discovery learning’ en van ‘inquiry learning’, zonder dat er een helder onderscheid tussen gemaakt werd. Ik zou het ‘ontdekkend leren’ in eerste instantie willen koppelen aan datgene wat je min of meer spontaan ‘ziet’ (ontdekt!) bij het bestuderen van een verschijnsel of het uitvoeren van een experiment en van daar-

²⁹¹ Voorbeelden hiervan zijn: Co-operative Problem Solving (University of Minnesota), Tutorials in Introductory Physics (University of Washington), Mathematical Tutorials (University of Maryland).

²⁹² Voorbeelden hiervan zijn: Active Learning Physics System (Ohio State University), Peer Instruction (Harvard University), Interactive Lecture Demos (University of Oregon).

²⁹³ Voorbeelden hiervan zijn: Physics by Inquiry (University of Washington), Workshop Physics (Dickinson College), The Physics Studio (Rensselaer Polytechnic Institution).

aan gerelateerde opdrachten. Onderwijs dus, waarin het, karikaturaal geformuleerd, ging om “*discovery methods, where the teacher simply presents tasks and expects learners to explore and discover ideas for themselves.*”¹⁵² Terwijl ‘onderzoekend leren’, mijns inziens, meer uitging van het vinden van antwoorden op vragen, en dan bij voorkeur vragen van de leerling. ‘Discovery learning’ was dan ook meer aan de orde in de ‘discipline-centred’ curricula, terwijl ‘inquiry learning’ meer werd gepropageerd voor ‘learner-centred’ curricula. Hoe dan ook, beide benaderingen waren in feite gebaseerd op een actieve vorm van leren, dat wil zeggen dat de te leren kennis niet eenvoudig wordt overgedragen, maar door leerlingen grotendeels zelf moet worden geconstrueerd, c.q. ontdekt. Zelfs al werd de term ‘construeren’ aanvankelijk nog niet in dit verband gebruikt. Maar wat had een constructivistische wending hier dan nog aan toe te voegen? In feite twee dingen. In de eerste plaats het simpele gegeven dat leerlingen geen ‘blank slates’ zijn, en dat derhalve terdege rekening moet worden gehouden met hun voorkennis. En in de tweede plaats dat we in het onderwijsproces steeds geneigd zijn de begripstappen die leerlingen zelf kunnen maken te overschatten, resulterend in misconcepties, waarvan het voorkómen vraagt om een zorgvuldiger uitlijning van het nagestreefde begripontwikkelingsproces. Ofwel, er moet sprake zijn van een zorgvuldig geplande ‘guided discovery’, dan wel van zorgvuldig geplande ‘guided inquiry’. En door deze ‘guidance’, waarvan de fijnstructuur, zoals eerder gezegd, een moeilijk te hanteren variabele is, vervalt, mijns inziens, het toch al geringe onderscheid tussen deze twee termen. Deze ‘guidance’ heeft trouwens niet alleen betrekking op de rol van preconcepties en op het voorkomen van misconcepties, maar ook op subtiliteiten die volgen uit een precieze conceptuele analyse, zoals de eerder beschreven ‘ancillary knowledge’ en ‘critical details’. Als we even afzien van het feit dat experimenteren geen rol speelt in de wiskunde, is er verder ook geen principieel verschil meer, lijkt me, met de eerder gebruikte term ‘guided reinvention’.

Aansluitend bij deze conclusie is, in de USA, McDermott de meest toonaangevende didactica geweest voor wat betreft de praktische uitwerking van zo’n constructivistisch geïnspireerde vorm van ‘inquiry teaching’. In een uitgave van drie dikke modules, getiteld ‘Physics by Inquiry’, die het resultaat zijn van meer dan twintig jaar werk in natuurkunde-didactisch onderzoek, geeft zij impliciet haar uitgewerkte visie op wat dit onderzoek te bieden heeft voor de onderwijspraktijk²⁹⁴. Figuur 103 geeft slechts één pagina uit dit opus weer, maar daaruit komt wel de kern van haar aanpak naar voren. Het voorwoord geeft daarover nadere informatie: “*Physics by Inquiry*’ is a set of laboratory-based modules that provide a step-by-step introduction to physics and the physical sciences. Through in-depth study of simple physical systems and their interactions, students gain direct experience with the process of science. Starting from their own observations, students develop basic physical concepts, use and interpret different forms of scientific representations, and construct explanatory models with predictive capability. All the modules have been explicitly designed to develop scientific reasoning skills

²⁹⁴ L.C. McDermott et al. (1996). *Physics by Inquiry, Volume 1, 2 and 3*. New York: Wiley.

L.C. McDermott & P.S. Shaffer (2002). *Tutorials in Introductory Physics*. New York: Prentice Hall.

L.C. McDermott (2001). Oersted Medal Lecture 2001: Physics education research – The key to student learning. *American Journal of Physics*, 11, 1127-1137.

and to provide practice in relating scientific concepts, representations, and models to real world phenomena.

‘Physics by Inquiry’ is not meant to be passively read. The modules do not provide all the information and reasoning included in a conventional text. There are gaps that must be bridged by the student. The process of science cannot be learned by reading, listening, memorizing, or problem solving. Effective learning requires active mental engagement. ‘Physics by Inquiry’ contains narratives, experiments and exercises, and supplementary problems. As the course progresses, student notebooks become an important resource.

- *Narrative – The narrative is double-spaced. It includes statements of fact, definitions, and examples of the kind of reasoning that is expected of students.*
- *Experiments and exercises – Experiments and exercises are inset from the narrative. They should be done as they are encountered.*
- *Supplementary problems – A collection of problems at the end of each module provides additional practice in applying physical concepts and scientific reasoning skills.*
- *Student notebooks – Students maintain notebooks in which they record observations, do exercises and problems, and reflect on how their understanding is evolving. In this way, they create an indispensable reference that complements the text and serves as an individualized study guide.”*

Wat is hier nu behartigenswaardig aan? Allereerst zien we in figuur 103 hoe hun proces van ‘guided inquiry’ heel *gedetailleerd* gestructureerd is. Deze figuur gaat over ‘zien’, hetzelfde onderwerp als eerder besproken bij Viennot, dat ten onrechte gewoonlijk nauwelijks tot geen aandacht krijgt. Daaruit blijkt al hoe zij gebruik maken van gerapporteerde begripsproblemen. Hun strategie is om door uitgekiende afwisseling van experimenten, opdrachten en vragen, studenten te brengen tot nieuwe kennis. Er wordt niet expliciet gebruik gemaakt van een conflictstrategie, al wordt soms wel gevraagd of studenten zaken anders zijn gaan zien. Wat opvalt zijn de kleine stappen waarin het leerproces is opgedeeld. Enerzijds wordt zo zorgvuldig aangesloten bij bekende preconcepties en anderzijds geprobeerd het ontstaan van misconcepties te voorkomen. Er is dus sprake van zorgvuldige en gedetailleerde ‘guidance’, terwijl studenten wel nog steeds zelf ‘begripsstappen moeten construeren’. Het lijkt een voorbeeld van zorgvuldige regulering van de altijd aanwezige spanning tussen ‘guidance van bovenaf’ en ‘vrijheid van onderop’. Maar tegelijk geldt ook hiervoor de kritiek dat studenten vooral opdrachten achter elkaar uitvoeren in een ‘geblindeerde trein’.

Frappant is de uitspraak in het voorwoord dat experimenten en opdrachten moeten worden uitgevoerd op het moment dat ze aan bod zijn. Hier ligt immers een zeer belangrijke bottleneck voor de rol van experimenten in de begripsvorming. In ons land is er, denk ik, geen docent te vinden, die zich aan dit voorschrift zou houden. Bij ons claimt elke docent de vrijheid om practicumexperimenten op zijn eigen manier in te richten en op zijn eigen tijd te laten uitvoeren. Helaas, vaak zonder dat hij zich realiseert dat dit altijd ten koste gaat van een zorgvuldige uitlijning van de begripsontwikkeling.

Een ander belangrijk aspect van hun uitwerking is dat het accent volledig ligt op de begripsontwikkeling en niet of nauwelijks op het *motiveren* van leerlingen. Dat geldt, enerzijds, voor het feit dat studenten geen enkele informatie krijgen over waar hun ‘geblindeerde trein naar op weg is’. Net als eerder geconstateerd bij het voorbeeld uit

figuur 95, geldt ook hier dat er (opnieuw zorgvuldig uitgekende) opdrachten achter elkaar worden gezet, die een student moet uitvoeren, maar zonder dat hij enig idee krijgt van het waarom en van het waar naar toe! Het gaat rechttoe rechtaan om het ontwikkelen van inzicht in ‘kale’ natuurkundige zaken, niets meer en niets minder! En anderzijds ontbreekt elke concessie om het ook leuk of relevant voor de leerling te maken. Ik vermoed dan ook dat elke Nederlandse docent die deze methode ziet, zal zeggen dat hij natuurkunde zo niet kan (en wil?) verkopen aan zijn leerlingen. McDermott²⁹⁵ is daarover echter zeer duidelijk: *“Too often, the quality of instruction is judged on the basis of student and teacher enthusiasm; this is not a valid indicator.”*

Experiment 1.3

A. Look at an unlighted bulb. Notice that even though the bulb is not lighted, you can still see it.

Suppose you took the bulb into a very dark closet. Would you still be able to see it? Explain.

B. Place the cover that you used in Experiment 1.1 over the unlighted bulb.

Where do you have to place your eye to see the bulb?

Use a flashlight with a mask to produce a beam of light.

How do you have to aim the flashlight to make the bulb inside the cover more easily visible?

C. When you are not aiming a flashlight at the bulb, does light from anywhere else strike the bulb? Explain.

✓ Discuss this experiment and Experiment 1.2 with a staff member.

Exercise 1.4

A. Consider the following statement by a student:

“At night it is dark, but during the day it is bright because the sun lights up objects. When objects are lit up I can see them.”

Do you agree with the statement by this student? Would you change the statement in any way to make it more correct?

B. Summarize the conditions necessary for you to be able to see an object.

Figuur 103. Een pagina uit ‘Physics by Inquiry’²⁹⁴.

²⁹⁵ Geciteerd uit L. Viennot (2010). Physics education research and inquiry-based teaching: A question of didactical consistency. In: K. Kortland & K. Klaassen (Eds.) *Designing Theory-Based Teaching-Learning Sequences for Science Education* (pp. 37-54). Utrecht: FIsme.

Ik wil hier even langer bij stilstaan omdat het, denk ik, een kernprobleem is voor ons natuurkundeonderwijs. Zoals Viennot²⁹⁵ opmerkt, wijkt de tegenwoordig gepropageerde situatie voor ons onderwijs nogal af van die waaraan McDermott de voorkeur geeft. *“The present situation seems somewhat different if judged through a series of more or less official reports and loudly-stated claims about the teaching of science particularly to young and/or non-specialist audiences. For example, the Nobel laureate Georges Charpak (...) pleaded for a strategy “... showing that, without lowering the level, we can have fun with science.” (...) A report to the European Community by a group chaired by Michel Rocard, formerly Prime Minister in France, praised “... a pedagogy using an inquiry-based approach that succeeds to develop excitement about science.” In these years of declining student numbers, numerous militant articles echo this call for excitement and engagement with science. Clearly, engagement with science is at the front of the stage, even if it is more or less explicitly assumed that a certain understanding of scientific methods, and possibly of concepts, will necessarily follow, as suggested by this type of comment: “Inquiry-based science-education has proven its efficacy at both primary and secondary levels in increasing children’s and students’ interest and attainment levels”.*

Given this contrast between the initial approach of physics education research, firmly orientated towards conceptual development, and a recent movement toward inquiry-based science education, at least in those versions which emphasise only excitement and interest and say almost nothing about concept learning, we might pose explicitly the following question: is there an incompatibility between an appealing presentation of physics and a recognition of its theoretical essence, as though we had cautiously to keep hidden this formal aspect. Can we hope to engage youngsters with physics whilst denying the very nature of the subject: a set of models and theories with remarkable predictive power, internal consistency and elegant parsimony, as recently underlined by Ogborn^{84,236}.”

Hieruit komt een fundamentele spanning naar voren tussen, enerzijds, onderwijs dat gericht is op conceptueel inzicht, en, anderzijds, onderwijs dat leerlingen als motivevend ervaren. Deze spanning zijn we eerder tegengekomen bij het bespreken van de voor- en nadelen van contextrijk onderwijs. Mijn conclusie was toen dat bekende contexten inderdaad door leerlingen als motiverend kunnen worden ervaren, voor zover het accent ligt op het verkrijgen van een globaal idee van hoe de context ‘werkt’. Zodra duidelijk wordt dat die context dient voor de introductie van een abstract en moeilijk begrippenkader, dat, als zodanig, vraagt om gedetailleerde studie en oefening, verdwijnt het motiverende karakter. Welnu, naar mijn oordeel doet precies hetzelfde probleem zich voor bij ‘inquiry-based’ natuurkundeonderwijs, zoals dat nu door ‘Europa’ gepropageerd wordt.

PRIMAS

Vanuit ‘Brussel’ is er een recent initiatief geweest om ‘inquiry-based learning’ (IBL) in het science- en wiskundeonderwijs te promoten: het project ‘Promoting Inquiry-Based Learning (IBL) in mathematics and science education across Europe’, afgekort tot PRIMAS²⁹⁶. Dit project was met name gericht op de professionalisering van docenten ten aanzien van IBL. Op zich een nobel streven, al zal het u waarschijnlijk niet verbazen dat de omvang van dit initiatief van een dusdanig politieke naïviteit getuigt, dat je er alleen daarom al nauwelijks effect van mag verwachten. Maar dat neemt niet weg

²⁹⁶ <http://www.primas-project.eu>

dat de retoriek werkelijk prachtig is! Allereerst is het instructief te lezen wat zij verstaan onder 'inquiry learning'. "Onderzoekend leren gaat om het verkennen van de wereld, vragen stellen, het doen van ontdekkingen, en testen van die ontdekkingen op zoek naar nieuwe inzichten. Onderzoekend leren kan op diverse manieren, afhankelijk van de context, doelgroep en leerdoelen. Echter, het gemeenschappelijke doel van toepassingen van onderzoekend leren is om nieuwsgierigheid, betrokkenheid en diepgaand leren te bevorderen." Op zich is hier, als nastrevenswaardig doel, niets mis mee. Het is alleen jammer dat ditzelfde soort teksten al decennialang worden geschreven, zonder dat we er kennelijk in slagen om dit soort doelen ook te verwezenlijken. Dat roept de vraag op of de probleemanalyse wel adequaat is uitgevoerd. Zou een grotere implementatie van 'inquiry-based learning' inderdaad het medicijn zijn voor de beschreven kwaal? Hoe dan?²⁹⁷

"The Rocard-Report draws a distinction between two approaches to teaching: a deductive, teacher-centred, transmission approach in which students are the passive recipients of information, and an inductive, student-centred, collaborative approach, referred to as inquiry-based education. The prevalent lack of enthusiasm for mathematics and science in schools is mainly due, the report asserts, to the prevalence of transmission methods. Although our model of inquiry-based learning is student-centred, the learning process is guided and scaffolded by teachers and materials. Our model should not be confused with that of minimal guided discovery methods, where the teacher simply presents tasks and expects learners to explore and discover ideas for themselves. While 'discovery' teaching is still inquiry-based, it appears less effective than the challenging, collaborative teaching that we envision. Teacher development does not come about through repeated attempts to persuade but through opportunities for individual teachers 'to doubt, reflect and reconstruct' in unburied, 'safe' environments. We do not seek to change teachers' beliefs so that they behave differently, but rather offer opportunities to behave differently so that their experiences may give them cause to reflect on and modify their beliefs."

Processes of inquiry

- Exploring situations and formulating problems
- Planning investigations, selecting or constructing representations and tools
- Systematically collecting, documenting and analysing data
- Interpreting and evaluating findings
- Communicating results and reflecting

Issues for teachers

- Organising student-led inquiry
- Helping students to tackle unstructured problems
- Promoting concept development through inquiry
- Asking questions
- Creating and managing classroom interaction that encourages IBL
- Supporting collaborative work
- Using assessment to promote learning

Figuur 104. Key characteristics of processes of inquiry and issues for teachers²⁹⁷.

Ziehier de beschrijving van het probleem en de richting van de gezochte oplossing. Deze probleembeschrijving schiet fundamenteel tekort. Stel al dat het juist zou zijn

²⁹⁷ De citaten komen uit 'Work Package 3: Teaching and professional development materials for IBL (version 2)': zie de PRIMAS-website. De verwijzingen naar referenties zijn uit de tekst verwijderd.

dat de oorzaak van het geringe enthousiasme ligt in de ‘transmission methods’. Dan wordt de relevante vraag: hoe komt het dat ondanks decennialange propagering van ‘inquiry methods’, deze toch niet worden gebruikt door docenten? En waarom zou je geloven dat het aanbieden van enkele ‘opportunities’ in dit project hun gedrag wel zou veranderen, als jarenlange aanbieding van veel meer ‘opportunities’ daar kennelijk onvoldoende in geslaagd is?

“Inquiry-based learning provides not only a new way of involving learners in doing science at school but also a way of improving science education at both primary and secondary level. A common misunderstanding is to confuse IBL with doing experiments or some practical work in the classroom. If the knowledge needed to conduct the experiment is provided by the teacher or by the task as a kind of cookbook recipe, the experiment can hardly be called inquiry based. The degree of inquiry depends on the openness of the situation as well as on the distribution of responsibilities between the teacher and the students.”

Tot zover enige informatie over het PRIMAS-project. Ik denk dat dit project ons niet verder brengt. Het werk van McDermott laat zien hoe gedetailleerd je te werk moet gaan als je zowel ‘inquiry teaching’ serieus wilt nemen, als een kwalitatief hoogwaardige begripsontwikkeling. Dat roept, zoals gezegd, een spanning op ten aanzien van de motivatie. Ongetwijfeld is het werk van McDermott in dat opzicht te verbeteren, maar dat moet dan met behoud van detaillering. Het PRIMAS-project start in feite, zoals veelal gebruikelijk, aan de andere kant van het spectrum. Dat kan in eerste instantie een positief effect hebben op de motivatie van leerlingen, maar de onderzoekservaring leert dat je de didactische detailinvulling ten aanzien van de begripsvorming niet kunt overlaten aan de praktijk. En dat is precies wat het PRIMAS-project doet.

9.4.4 Van ‘Force Concept Inventory’ tot ‘evidence based’

Rest nog de vraag of al die ‘interactive engagement’ curricula, waaronder McDermott’s werk, nu ook werkelijk effectief zijn. In het pragmatische Amerika is deze vraag veelvuldig gesteld, veel eerder dan in Europa, en heeft daar ook geleid tot nogal wat pogingen om dat te meten^{298,299}. Dit werd vooral gedaan met behulp van de eerder genoemde ‘Force Concept Inventory’. Laat ik daarom iets nader ingaan op dat instrument (zie figuur 105). Zoals gezegd, deze vragenlijst is ontwikkeld voor het testen van de invloed van pre- en misconcepties op het gebied van de mechanica. De ontwerpers

²⁹⁸ D. Hestenes, M. Wells & G. Swackhamer (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30, 141-158.

²⁹⁹ Een paar van de zeer vele toepassingen van de FCI:

R.R. Hake (1997). Interactive-engagement vs traditional methods: A six-thousand student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66, 64-74.

R.R. Hake (2000). Towards paradigm peace in physics education research. Paper presented at the AERA-conference, New Orleans.

J.M. Saul & E.F. Redish (1998). *An Evaluation of the Workshop Physics Dissemination Project*. Dept. of Physics, University of Maryland.

H. Schecker & J. Gerdes (1999). Messung von Konzeptualisierungsfähigkeit in der Mechanik – Zur Aussagekraft des Force Concept Inventory. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 5, 75-89.

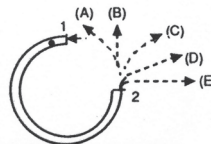
A. Savinainen & P. Scott (2002). Using the Force Concept Inventory to monitor student learning and to plan teaching. *Physics Education*, 37, 53-58.

claimden dat deze vragenlijst op een redelijk volledige wijze kwalitatief inzicht in ‘het krachtbegrip’ zou meten, met als bedoeling om hiermee een objectief instrument in handen te hebben waarmee een docent het succes van zijn mechanicaonderwijs kon meten. En daarvoor was de FCI aanvankelijk ook bedoeld, wat inhield dat de samenstelling vooral vanuit de praktijk tot stand is gekomen, gebaseerd op ‘face validity’ ten aanzien van de inhoud van de items en de keuzealternatieven. Al snel werd deze test ook voor iets heel anders gebruikt, namelijk om de effecten van verschillende vormen van mechanicaonderwijs met elkaar te vergelijken. Maar dat stelt veel hogere psychometrische eisen aan een instrument, wat leidde tot veel kritiek op de FCI. Toch is er uiteindelijk wel redelijke consensus ontstaan, in die zin dat de totaalscore op de FCI ook voor methoden-vergelijking voldoende valide en betrouwbaar zou zijn. En daar sluit ik me dan maar bij aan.

8. Along the **frictionless** path you have chosen, how does the speed of the puck vary **after** receiving the "kick"?
- (A) No change.
 - (B) Continuously increasing.
 - (C) Continuously decreasing.
 - (D) Increasing for a while, and decreasing thereafter.
 - (E) Constant for a while, and decreasing thereafter.

9. The main forces acting, **after** the "kick", on the puck along the path you have chosen are:
- (A) the downward force due to gravity and the effect of air pressure.
 - (B) the downward force of gravity and the horizontal force of momentum **in the direction of motion**.
 - (C) the downward force of gravity, the upward force exerted by the table, and a horizontal force acting on the puck **in the direction of motion**.
 - (D) the downward force of gravity and an upward force exerted on the puck by the table.
 - (E) gravity does not exert a force on the puck, it falls because of the intrinsic tendency of the object to fall to its natural place.

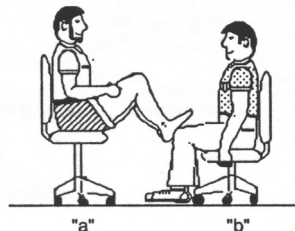
10. The accompanying diagram depicts a semicircular channel that has been securely attached, in a **horizontal plane**, to a table top. A ball enters the channel at "1" and exits at "2". Which of the path representations would most nearly correspond to the path of the ball as it exits the channel at "2" and rolls across the table top.



- * **Two students, student "a" who has a mass of 95 kg and student "b" who has a mass of 77 kg sit in identical office chairs facing each other. Student "a" places his bare feet on student "b's" knees, as shown below. Student "a" then suddenly pushes outward with his feet, causing both chairs to move.**

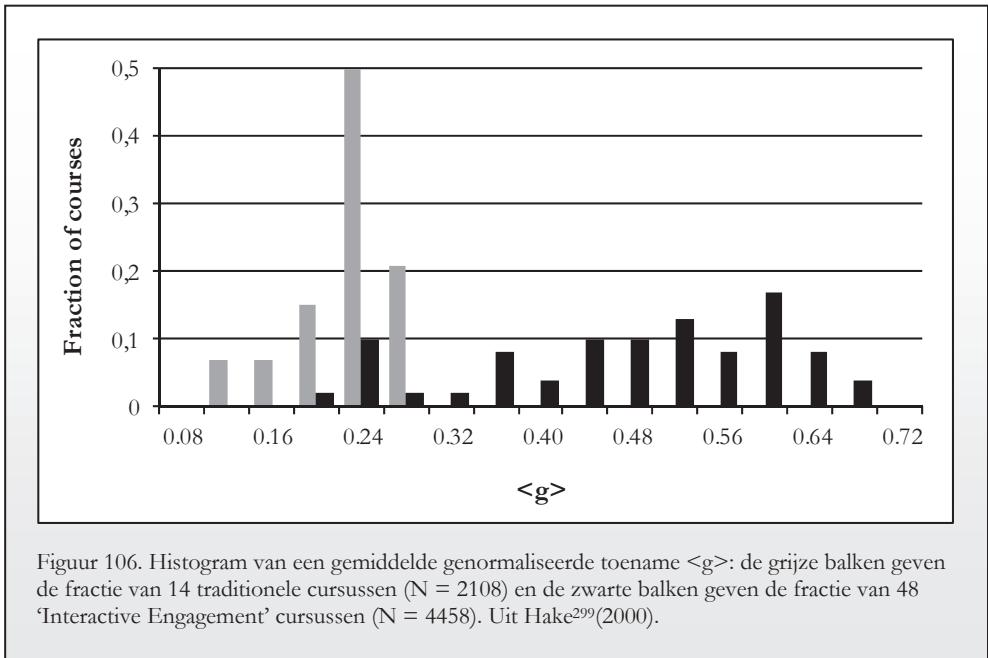
11. In this situation,

- (A) neither student exerts a force on the other.
- (B) student "a" exerts a force on "b", but "b" doesn't exert any force on "a".
- (C) each student exerts a force on the other but "b" exerts the larger force.
- (D) each student exerts a force on the other but "a" exerts the larger force.
- (E) each student exerts the same amount of force on the other.



Figuur 105. Enkele items uit de ‘Force Concept Inventory’.

Hake (figuur 106) verzamelde FCI-uitslagen van 6000 studenten, die óf deelnamen aan ‘interactive engagement’ cursussen (IE) óf aan ‘traditionele’ mechanicacursussen. Zijn analyse gaf aan dat de IE-methoden duidelijk betere resultaten gaven, al gold dat (nog) niet voor alle cursussen. Ook andere onderzoeken gaven soortgelijke resultaten en dus zou je kunnen concluderen dat IE-curricula redelijk effectief kunnen zijn in het bevorderen van een goed functionerend begrip van de onderwezen natuurkunde. Deze ervaring met de FCI heeft geleid tot de vraag naar meer van deze gevalideerde onderzoeksinstrumenten, ook voor andere onderwerpen.



Als zodanig is het vergelijkend onderzoek met de FCI op te vatten als onderzoek dat bijdraagt aan de ontwikkeling van ‘evidence-based’ onderwijs. Als reactie op alle onderwijsvernieuwingen die zijn ingevoerd zonder dat duidelijk was of ze de verwachte verbeteringen ook werkelijk zouden kunnen opleveren, kwam steeds nadrukkelijker de eis naar voren dat in te voeren vernieuwingen ‘evidence based’ moeten zijn. Dat wil zeggen: gebaseerd op degelijk onderzoek dat heeft aangetoond dat de vernieuwing ook werkt. En als degelijk onderzoek geldt dan niet kwalitatief onderzoek naar het verloop van leerprocessen, maar alleen kwantitatief onderzoek gericht op het aantonen van effecten, waarin een experimentele groep vergeleken wordt met een controlegroep. Deze design-eis werd ontleend aan het gebruikelijke dubbelblind onderzoek naar de effectiviteit van nieuwe medicijnen in de medische wetenschap. Een eis die nogal ver gaand is, naar het mij lijkt. Hoe dan ook, het zojuist beschreven FCI-onderzoek gaat een heel eind in die richting en is sindsdien gevolgd door veel meer vergelijkend onderzoek. In ieder geval kwamen de Amerikaanse natuurkundendidactici op grond van dit onderzoek tot de volgende conclusies en aanbevelingen: “*At a meeting at Tufts Uni-*

versity, USA, the participating physics education researchers reached an agreement on the following points:

- 1. Facility in solving standard quantitative problems is not an adequate criterion for functional understanding.*
- 2. A coherent conceptual framework is not typically an outcome of traditional instruction. Rote use of formulas is common.*
- 3. Certain conceptual difficulties are not overcome by traditional instruction.*
- 4. Growth in reasoning ability does not usually result from traditional instruction.*
- 5. Connections among concepts, formal representations, and the real world are often lacking after traditional instruction.*
- 6. Teaching by telling is an ineffective mode of instruction for most students.”*

En hoewel je kunt tegenwerpen dat dit niet de meest wereldschokkende conclusies zijn, ze zijn in ieder geval wel ‘evidence based’! Bovendien zullen, zonder twijfel, ook alle PRIMAS-aanhangers zich hierin kunnen vinden, wat maar weer eens demonstreert dat “*the devil in the details*” zit, en niet in de overkoepelende retoriek.

9.5 Begripsontwikkeling en de rol van ICT

9.5.1 Prehistorie

Er zijn weinig technologische innovaties die zo’n snelle en invloedrijke ontwikkeling hebben doorgemaakt als ‘de computer’. Ook in het onderwijs. In deze paragraaf zal ik me beperken tot de speciale rol van ICT in de bevordering van begripsontwikkeling. En dat nog slechts exemplarisch, omdat het anders niet te behappen is.

Mijn eigen ervaring met ‘ICT’ begon toen ik als tweedejaars student een numerieke programmeeropdracht moest uitvoeren. Het Algol-programma werd geponst in een papieren tape, die vervolgens in een zakje met naam en adres moest worden ingeleverd bij het Computercentrum. Als het meezat kon je dan de dag erna de computer-uitdraai ophalen. In eerste instantie om een aantal keren te vernemen dat er syntaxfouten in het programma zaten. Later dan eindelijk voor de oplossing van het probleem. Cruciaal was om zo te programmeren dat er zo weinig mogelijk geheugen werd gebruikt. Met veel respect werd dan ook gepraat over de latere Nobelprijswinnaar die zijn spectaculaire programma eigenhandig in machinetaal had geschreven, omdat het anders voor de uitvoering te veel geheugen zou vergen. Vreemd hoe invloedrijk zo’n eerste ervaring kan zijn, want tot op de dag van vandaag verbaas ik me erover hoe slordig tegenwoordig programmeertechisch met computergeheugen wordt omgegaan. Mijn eerste didactische kennismaking met de computer betrof het COO-werk (computerondersteund onderwijs) dat werd uitgevoerd in de Vakgroep Natuurkundedidactiek van de UU. Met behulp van een werkstation werd telefonisch contact gemaakt met de ‘mainframe’ computer van het rekencentrum. De programma’s werden geschreven in PLANIT, een programmeertaal met de nodige beperkingen. De didactische aard van deze programma’s was hoofdzakelijk tweeledig: ‘drill and practice’ en ‘tutorial’. Dat wil zeggen programma’s waarmee je vooral veel eenvoudige opgaven kon trainen en programma’s waarin een stuk theorie werd behandeld. Dat laatste zo-

veel mogelijk aan de hand van sterk voorgestructureerde vragen, omdat de feedback-mogelijkheden nog zeer beperkt waren. Kortom, het had alle kenmerken van gedigitaliseerde geprogrammeerde instructie, met als didactische rol vooral het vormgeven van geïndividualiseerd ‘diagnostic-remedial teaching’. Anders gezegd, dit zijn toepassingen die in feite de leraar vervangen en aanvullen in het geven van toegespitste extra oefening en hulp.

Een eerste doorbraak kwam met het beschikbaar komen van de APPLE-II computers. Die konden vooral goed op practica worden ingezet, voor dataverwerking en sturing van experimenten. Toen ook de IBM-PC zijn intrede deed, naast andere producten als de Commodore 64, de ZX-Spectrum, de Amiga en de Atari, was de weg geopend naar de digitalisering van het onderwijs³⁰⁰. Zoals altijd bij belangrijke ontwikkelingen, staan er dan visionaire goeroes op die hun blik vooruit werpen naar een verre en grote toekomst. Ten aanzien van de computer in het onderwijs werd die rol onder andere vervuld door de sterk door Piaget geïnspireerde Seymour Papert³⁰¹, de ontwikkelaar van LOGO, een taal waarin ook heel jonge leerlingen hun eigen ‘wereld’ konden programmeren, met zijn boek ‘Mindstorms’. Geen wonder dat hij daarin schrijft (in 1980!): *“In many schools today, the phrase “computer-aided instruction” means making the computer teach the child. One might say the computer is being used to program the child. In my vision, the child programs the computer and, in doing so, both acquire a sense of mastery over a piece of the most modern and powerful technology and establishes an intimate contact with some of the deepest ideas from science, from mathematics, and from the art of intellectual model building.”* Soortgelijke vergezichten zijn ook in de jaren daarna regelmatig door onderwijskundigen naar voren gebracht, maar we kunnen nu constateren dat deze revoluties niet zijn verwezenlijkt. In plaats daarvan is de computer een waardevol en onmisbaar hulpmiddel geworden, dat op veel plaatsen in het onderwijs productief kan en moet worden ingezet. Laat ik proberen, gegeven het gestelde doel, daarvan nu een beknopt beeld te schetsen³⁰².

9.5.2 Van de Middeleeuwen tot heden

Zoals al vermeld, de opkomst van de computer leidde natuurlijk ook tot onderwijs *over* de computer. In ons land kwam dat het meest duidelijk naar voren bij de door de WEN ingevoerde vernieuwing, naar aanleiding van in proefprojecten ontwikkelde lessenseries over ‘Fysische Informatica’ en ‘Computertoepassingen in de natuurkunde’, waarin automatisering en dataverwerking centraal stonden. Daarnaast leidde de computer tot de ontwikkeling van numerieke technieken en van nieuwe theorieën, als chaos, fractals

³⁰⁰ Het is uitermate interessant om later te lezen hoe deze Apple-computers tot stand zijn gekomen. Zie: W. Isaacson (2011), *Steve Jobs*. New York: Simon & Schuster.

³⁰¹ S. Papert (1980). *Mindstorms: Children, Computers and Powerful Ideas*. New York: Basic Books. http://en.wikipedia.org/wiki/Seymour_Papert

³⁰² Om dicht bij huis te blijven kan een eerste invulling van dat beeld ontleend worden aan de proceedings van de GIREP-conferentie in 1984, waarin een aparte sectie gewijd is aan computertoepassingen voor het natuurkundeonderwijs. Aanvullingen hierop zijn te ontleen aan een verslag van een conferentie in 1985 die zelfs geheel gewijd was aan science-onderwijs en de microcomputer.

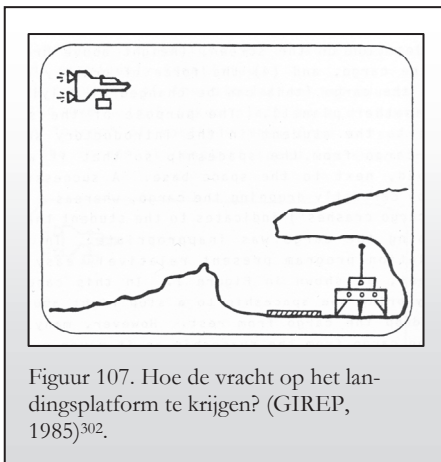
P.L. Lijnse (Ed.) (1985). *The Many Faces of Teaching and Learning Mechanics*. Utrecht: WCC.

G. Marx & P. Szucs (Eds.) (1985). *Microcomputers in Science Education*. Veszprém: ICET.

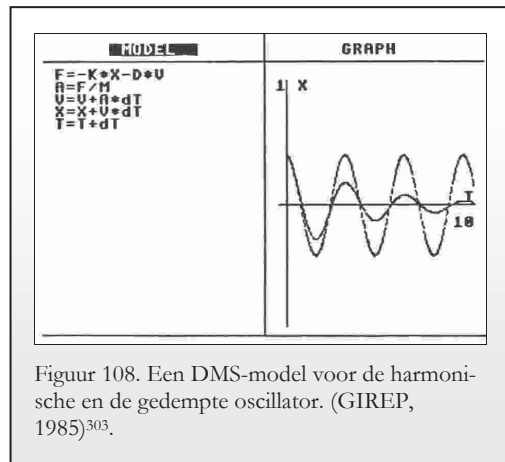
De WND-conferentie van 1989 was gewijd aan ‘Computers in het natuurkundeonderwijs’.

en ‘cellular automata’, die op hun beurt vroegen om opname in het curriculum, al is dat in ons land slechts in zeer beperkte mate het geval geweest.

De nieuwe hard- en software maakte ook een nieuw soort didactische toepassingen mogelijk, waaronder ‘interactieve microwerelden’. Deze waren geïnspireerd op de ‘micro worlds’ van Papert. Zo zag naast de logoturtle, waarmee leerlingen zelf objecten en verplaatsingen konden programmeren, ook de dynaturtle het levenslicht. Daarmee konden leerlingen dynamische effecten op objecten programmeren en onderzoeken. Met soortgelijke programma’s konden virtuele werelden worden geschapen, waarin, bijvoorbeeld, wrijving en/of gravitatie naar believen konden worden in- of uitgeschakeld. Ter verhoging van de motivatie kregen dit soort microwerelden vaak de vorm van een spel (figuur 107). De eerder besproken ‘trage inbreker’ past in dit patroon. Het is duidelijk dat dit soort programma’s trachtte aan te sluiten bij onderzoek naar begripsproblemen in de mechanica. Door leerlingen nieuwe en vaak onverwachte ervaringen te laten opdoen, werden hun geesten rijp gemaakt voor een beter begrip van de Newtoniaanse concepten. Althans, dat was de bedoeling, maar zoals we al gezien hebben, ervaringen alleen zijn daarvoor niet voldoende. Bovendien houden dit soort spellen het gevaar in alleen op ‘knopniveau’ te worden uitgevoerd. Het gewenste leereffect zal alleen optreden als ze worden ingebouwd in een didactisch zorgvuldig vormgegeven leertraject van begripsontwikkeling, iets waarover de literatuur veelal weinig informatie geeft. Veel van de tegenwoordige ‘games’, en het ‘autoracen’ met spelcomputers, zouden we zelfs in het verlengde hiervan kunnen zien. Net zoals vluchtsimulators. Daarin zitten steeds mogelijkheden om bewegingen te ‘ervaren’, die normaal buiten ons bereik liggen en die dus tot nieuwe leereffecten kunnen leiden.



Figuur 107. Hoe de vracht op het landingsplatform te krijgen? (GIREP, 1985)³⁰².



Figuur 108. Een DMS-model voor de harmonische en de gedempte oscillator. (GIREP, 1985)³⁰³.

Een andere programmacategorie, die hier nauw bij aansluit, is die van simulaties. Bijvoorbeeld in de vorm gesimuleerde experimenten of processen, die normaal buiten het bereik van de klas liggen. De massaspectrometer, Coulombverstrooiing en de proef van Millikan zijn een paar bekende voorbeelden uit de jaren tachtig. In feite zijn de meeste applets van tegenwoordig een voortzetting van deze categorie. In diezelfde jaren tachtig werden ook de eerste modellerprogramma’s ontwikkeld. Baanbrekend

was het DMS-programma³⁰³, waarmee leerlingen numerieke dynamische modellen konden maken, al was aanvankelijk niet zo duidelijk hoe dat in de klas kon worden ingezet en wat voor situaties zich daarvoor konden lenen (figuur 108). Maar het programma had wel een grote ‘face validity’. Ieder die ermee kennismakte was ervan overtuigd dat het een grote didactische potentie had. Het opstellen van een dynamisch model dwingt leerlingen immers om heel precies na te denken over de belangrijke variabelen in een proces en over de verbanden daartussen. Terwijl het runnen van een model leerlingen onmiddellijke feedback geeft over de juistheid van hun veronderstellingen. Echter, pas door het koppelen van deze vorm van numeriek modelleren aan de interpretatie van experimenteel, of anderszins, verkregen data, kon het die potentie echt waarmaken.

Dat illustreert dat de meeste, en meest aansprekende, natuurkunde-didactische toepassingen toch lagen op het gebied van nieuwe mogelijkheden van experimenteren. Soms redelijk elementair door bestaande apparatuur, zoals de luchtkussenbaan, te verbeteren door de computer in te schakelen bij het automatisch meten van tijden en het verwerken van de meetgegevens. Soms ook op een veel drastischer manier, zoals bij het inzetten van computergestuurde videodiscs (of laserdiscs). Deze nieuwe videotechnologie was toen veelbelovend, maar heeft het uiteindelijk niet gered. Er is in de jaren tachtig van de vorige eeuw echter wel een aantal meer of minder experimentele projecten geweest, waarin voor het natuurkundeonderwijs zeer bruikbare videodiscs zijn ontwikkeld, waaronder discs over ‘Mechanische resonantie en de Tacoma Narrows Bridge Collapse’³⁰⁴, ‘De fysica van autobotsingen’, ‘Energieomzettingen bij fietsen’ en ‘Het onderzoeken van bewegingen van sporters en dansers’. Door middel van deze videotechniek konden realistische contexten de klas in worden gehaald. Leerlingen konden aan de ‘video stills’ zelf metingen verrichten en deze analyseren en interpreteren, onder andere met behulp van curve-fitting technieken. Later is veel van de inhoud van deze discs gedigitaliseerd en gebruikt als input voor meet- en verwerkingssoftware (als het bekende Coach-programma), zodat ze, zij het op een andere manier, toch beschikbaar bleven voor gebruik in het onderwijs. Dat verklaart de grote overeenkomst, zo wel qua inhoud als verwerking, van deze vroege discs met de huidige inzet van videomeet- en verwerkingssoftware³⁰⁵. Dit laatste illustreert trouwens dat er, naar mijn mening, momenteel natuurlijk wel veel meer en veel geavanceerdere soft- en hardware beschikbaar is, maar dat de fundamentele aard van de didactische inzetmogelijkheden, afgezien van het internet, nog grotendeels overeenkomt met die van de jaren tachtig.

Naar de didactische inzet van videodiscs is ook enig onderzoek verricht. Twee uitkomsten daarvan wil ik hier vermelden. De eerste is dat er geen verschil werd gevon-

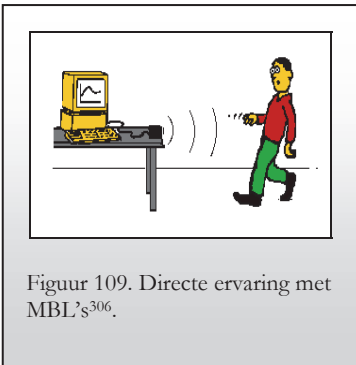
³⁰³ Dit ‘Dynamic Modelling System’ was ontworpen door Ogborn. Later is in ons land een verbeterde versie als NEMO (Numerieke Educatieve Modeller Omgeving) op de markt gebracht. Het DMS-programma is bij ons, naast andere starterssoftware, door het ministerie beschikbaar gesteld voor alle scholen. Al snel is deze vorm van modelleren geïntegreerd in vroege versies van IP-Coach.

³⁰⁴ Deze ‘Tacoma Bridge Collapse’ betreft een spectaculair filmpje over het in resonantie raken en uiteindelijk instorten van een pas gebouwde brug. <http://www.youtube.com/watch?v=j-zczjXSxw>

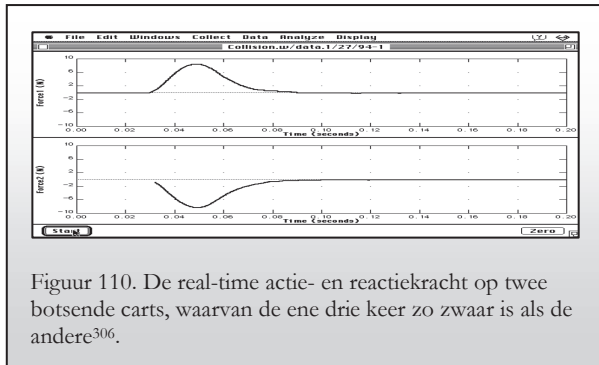
³⁰⁵ Zie voor een uitgebreide bespreking daarvan het proefschrift van: A. Heck (2012), *Perspectives on an Integrated Computer Learning Environment*. Amsterdam: CAN Uitgeverij.

den in bereikt inzicht tussen onderwijs met behulp van een videodisc en onderwijs met gebruik van gewone experimenten. De tweede uitkomst zegt dat er wel een verschil werd gevonden in de mate waarin studenten variabelen konden scheiden en controleren. Studenten die gewoon hadden geëxperimenteerd, konden dit beter dan studenten die hun gegevens van de videodisc hadden verkregen. De waarschuwing die hiervan uitgaat is, denk ik, dat er, ondanks alle automatisering van het experimenteren, toch een rol blijft weggelegd, in ieder geval aanvankelijk, voor gewone directe ervaring met ‘handen aan de knoppen’!

Deze koppeling aan directe ervaring kwam trouwens op een heel nieuwe manier tot stand door het beschikbaar komen van allerlei sensoren (van plaats, snelheid, versnelling, kracht, temperatuur, geluid, magnetisch veld, spanning, stroom, etc.) die, gekoppeld aan de computer, het mogelijk maken het verloop van processen, real-time, direct zichtbaar te maken op het scherm. Deze MBL's (Microcomputer-Based Laboratories) representeren ongetwijfeld een belangrijke didactische ontwikkeling, juist ook voor de aan de orde zijnde begripsproblematiek.



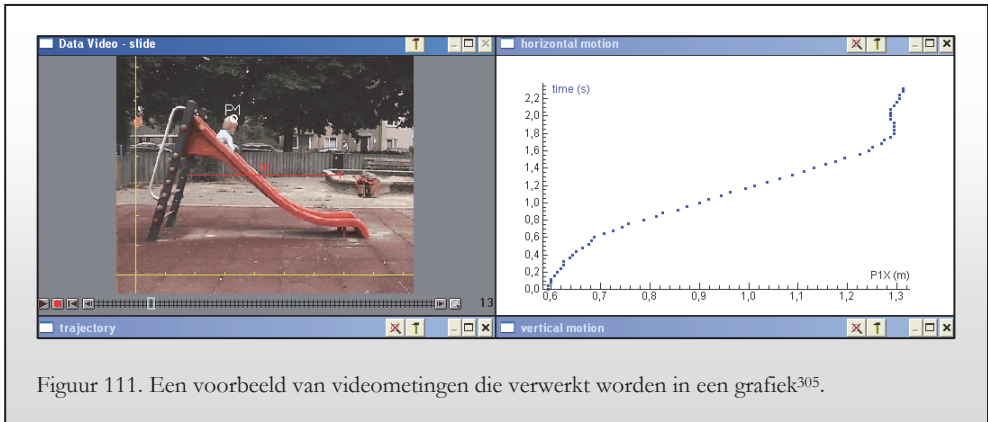
Figuur 109. Directe ervaring met MBL's³⁰⁶.



Figuur 110. De real-time actie- en reactiekracht op twee botsende carts, waarvan de ene drie keer zo zwaar is als de andere³⁰⁶.

Het zal u niet verbazen dat de eerste toepassingen daarvan zich weer richtten op de mechanica. Zo kunnen leerlingen bewegingsbegrippen ‘direct ervaren’, door voor een bewegingssensor heen en weer te lopen (figuur 109), terwijl de software hun plaats, snelheid en versnelling real-time laat zien (figuur 110)³⁰⁶. Ieder die wel eens geprobeerd heeft voor zo'n sensor eenparig versneld te bewegen, zal nooit meer vergeten hoe moeilijk dat is vol te houden. Niet alleen snelle, maar ook heel langzame processen, zoals afkoelen, kunnen zo zichtbaar worden gemaakt, naast vele andere. Deze MBL's openden veel nieuwe didactisch waardevolle mogelijkheden, die nog verder toenamen toen ook de verwerkingssoftware van deze data steeds geavanceerder werd. Data worden automatisch verwerkt tot grafieken, waarop curve-fitting technieken kunnen worden losgelaten, en die uitgangspunt zijn voor het toetsen van theoretische modellen, die ook weer door dezelfde software kunnen worden gegenereerd. Kortom, meet- en verwerkingsprocedures die in veel opzichten een didactische afspiegeling zijn van wat ‘echte’ experimentele onderzoekers doen (figuur 111).

³⁰⁶ R.K. Thornton (1999). Using the results of research in science education to improve learning. Proceedings International Conference on Science Education. Nicosia: Cyprus.



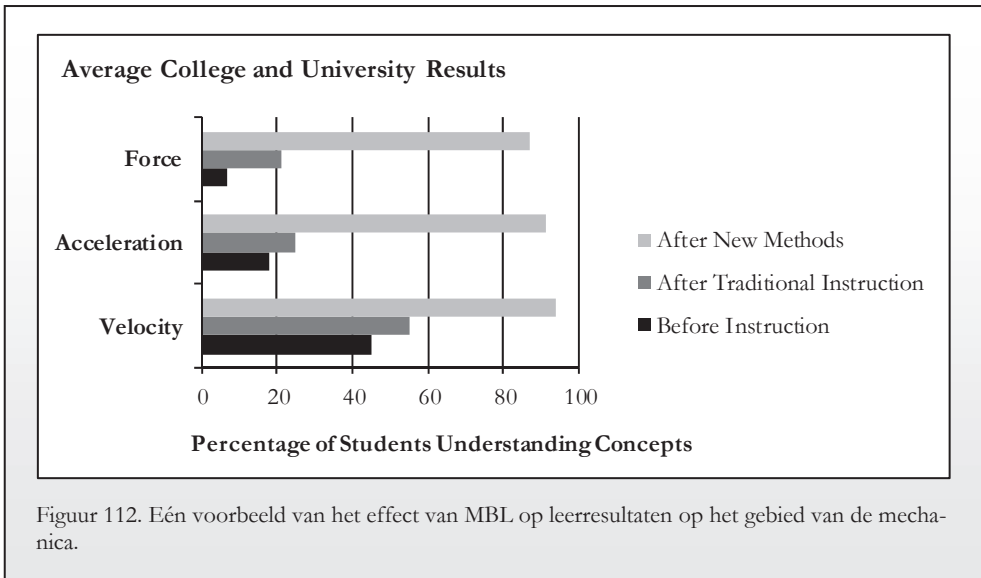
Figuur 111. Een voorbeeld van videometingen die verwerkt worden in een grafiek³⁰⁵.

Voorstanders wijzen er op dat, tijdens ‘gewone’ experimenten, leerlingen vooral bezig zijn met het aflezen van meters, het noteren van data, het maken van grafieken en berekeningen. Of, met andere woorden, ze zijn vooral gefocust op de details van het meten en verwerken, en niet gericht op de achterliggende begrippen en de interpretatie van de meetgegevens. Met MBL kan hun aandacht juist verschuiven naar het laatste, omdat het eerste automatisch gedaan wordt. Dat moge in principe juist zijn, ik vraag me toch af, zoals hierboven al geformuleerd, in hoeverre ‘gewoon experimenteren’ hier zonder meer door kan worden vervangen. Dat roept dan onmiddellijk de vraag op of deze positieve verwachtingen ten aanzien van MBL nu ook te onderbouwen zijn met evaluatieresultaten. Vooral in de beginjaren is daar nogal wat evaluatieonderzoek naar gedaan, waarvan ik nu één resultaat zal weergeven (figuur 112), dat representatief is voor de uitkomst van dergelijke studies³⁰⁷. Steeds blijken er ten aanzien van leereffecten op het gebied van de mechanica goede resultaten geboekt te worden. Zelfs zodanig dat sommigen beweren dat “*MBL is the only method in physics teaching using computers with a proven positive learning effect.*”³⁰⁸ Overigens kan het geen toeval zijn dat praktisch al deze studies zich beperken tot de mechanica. Ik vermoed omdat juist daarin de directe koppeling aan verrassende ervaringseffecten het grootst kan zijn. Bernhard³⁰⁸ beargumenteert op grond van zijn onderzoek dat deze positieve effecten niet puur het gevolg zijn van de inzet van de technologie op zich, maar van de manier waarop deze didactisch wordt gebruikt. Dit maakt het geheel er trouwens niet duidelijker op. Immers, is het dan toch niet vooral een kwestie van leerlingen actief en reflectief betrekken in een didactisch goed gestructureerd begripsontwikkelingsproces, waarbij de inzet van MBL weliswaar een positieve rol kan spelen, maar toch minder essentieel is dan de voorstanders beweren? Interessant is dan om te weten hoe deze

³⁰⁷ Ook in ons land is dergelijk onderzoek gedaan. Zie bijvoorbeeld: P. Molenaar (1996). De kracht van multimedia in het mechanicaonderwijs. Verslag WND-conferentie. Dat is maar één van de vele publicaties van het succesvolle en toonaangevende ICT-werk van het voormalige AMSTEL Instituut. In vele WND-conferentieverlagen en in NVOX is daarover veelvuldig en uitvoerig gepubliceerd.

³⁰⁸ J. Bernhard (2003). Physics learning and Microcomputer Based Laboratory (MBL). Learning effects of using MBL as a technological tool and as a cognitive tool. In: D. Psillos et al. (Eds.), *Science Education in the Knowledge-Based Society* (pp. 323-331). Dordrecht: Kluwer.

MBL-resultaten zich verhouden tot die met andere ‘conceptual change’ benaderingen zonder computer. Daarnaast is echter weinig onderzoek gedaan, maar de eerder vermelde onderzoeken met de FCI geven niet aan dat er een groot significant verschil zou zijn. Dat suggereert dat het er toch vooral om gaat leerlingen expliciet en actief tot nadenken te brengen over hun eigen concepten en ervaringen. En dat zou betekenen dat, met name, ook de ontwikkeling van hun metacognitieve vaardigheden een belangrijke component vormt in het geheel. Een aspect dat meer aandacht verdient.



9.6 Reflectie

In dit hoofdstuk heb ik een aantal spraakmakende voorbeelden beschreven van in meer of mindere mate constructivistisch geïnspireerde pogingen tot didactische vernieuwing. Daarbij moeten we bedenken dat, didactisch gezien, het constructivisme niet meer was dan een epistemologische opvatting over kennisverwerving in het algemeen, en over leren in het bijzonder, maar dat het geen uitgewerkte instructieopvatting en theorie inhield. Het is opmerkelijk dat zowel de WEI als het realistisch rekenen niet uitgingen van deze constructivistische opvatting over leren, maar in feite van een visie op het vak en/of op ‘goed’ vakonderwijs, dus van een puur vakdidactische optiek. In feite ging het hen erom dat wetenschappelijke kennisverwerving mensenwerk is, en dat je leerlingen dus ook de kans moet geven dat zelf mee te maken. In de didactische uitwerking van deze visies tot een toegespitste instructieaanpak liepen zij daarom, zoals we gezien hebben, in veel opzichten vooruit op wat later onder constructivistische vlag gemeengoed werd. Dat gold uiteraard niet voor het idee van sterke ‘conceptual change’, omdat zowel de WEI als het realistisch rekenen, door uit te gaan van de leefwereld van leerlingen en productief voort te bouwen op hun construc-

ties, er juist op uit waren om misconcepties te voorkomen, en niet op het corrigeren daarvan.

Toen duidelijk werd dat deze sterke ‘conceptual change’ vooral het gevolg was van het niet goed interpreteren van leerlingen en bovendien duidelijk werd dat er aan de opvatting over leren geen eenduidige opvatting over onderwijzen kon worden gekoppeld, was het constructivisme als didactische stroming snel over haar hoogtepunt heen. Wat blijft is echter de constructivistische opvatting over leren, en de noodzaak om daar als docent op adequate wijze rekening mee te houden. Dat heeft consequenties voor het ‘luisteren naar leerlingen’, voor de precieze didactische analyse van de beginsituatie en te onderwijzen kennis en vaardigheden, voor de mate en wijze van interactie en feedback, etc. De beschreven voorbeelden van ‘verbeterde directe instructie’, ‘activerende didactiek’ en ‘inquiry learning’, alsmede de daarop toegespitste inzet van ICT, zijn evenzovele voorbeelden van de meer pragmatische wijze waarop de constructivistische boodschap nog steeds zijn invloed doet gelden. En ook tot duidelijke verbetering kan leiden, al moeten we realistisch blijven in onze verwachtingen dienaangaande. Ook in de nog volgende hoofdstukken zal deze constructivistische invloed steeds aanwezig zijn, zij het dat ze dan zal worden aangevuld met, en ingebed in, andere, meer dominante invalshoeken, zoals, bijvoorbeeld, die van de cognitieve en handelingspsychologie. Daarover gaat het in het volgende hoofdstuk.

10 Psychologische ‘oplossingen’: probleemoplossen, metacognitie en Vygotsky

10.0 Doel

In dit hoofdstuk concentreer ik me op drie belangrijke zaken die veel psychologische aandacht hebben gekregen. Om te beginnen, het leren oplossen van problemen, onder andere met behulp van heuristieken. Eén van de aspecten daarin is het kunnen reguleren van je eigen probleemoplossend handelen, dat wil zeggen dat je het handelen met cognities metacognitief moet kunnen sturen. Maar metacognitie houdt nog veel meer in, zoals we zullen zien. Het handelingsperspectief staat juist ook centraal in de op Vygotsky gebaseerde cultuur-historische traditie, die vervolgens aan de orde komt. In mijn bespreking van deze onderwerpen zal ik me steeds concentreren op de eventuele natuurkunde-didactische relevantie en uitwerking. Immers, die laten zien en bespreken, is mijn doel.

10.1 Probleemoplossen

10.1.1 Inleiding

Mijn eerste wiskundeleraar was een bijzondere man. Vreemd dat een docent zo’n indruk kan maken op een kind, dat het bijna zestig jaar later nog precies zijn gezicht voor de geest kan halen, al ben ik zijn bijnaam vergeten. Maar ik zie hem nog wel op zijn Kaptein-Mobylette rijden, een nu prehistorisch vervoermiddel. Al is het in het kader van mijn betoog misschien belangrijker iets te zeggen over hoe hij les gaf. In zijn lessen over de euclidische meetkunde hield hij altijd een vast patroon aan. Bij alle stellingen die bewezen moesten worden, en dat waren er veel, structureerde hij zijn betoog volgens de driedeling: ‘gegeven, te bewijzen, bewijs’. Dit was een vast patroon en ook wij, als leerlingen, gingen deze structuur als vanzelfsprekend hanteren, zoals trouwens ook de bedoeling was. In die tijd had niemand het nog over ‘probleemoplosvaardigheden’ en ‘heuristieken’, maar deze simpele driedeling was in feite wel degelijk een rudimentaire heuristiek voor bewijsproblemen. Het zou zelfs mogelijk geweest zijn een simpele transfer naar het oplossen van natuurkundesommen te maken, door de driedeling om te vormen tot: ‘gegeven, gevraagd, oplossing’, maar dat was nog niet aan de orde. Toch is deze structurering van bewijsproblemen, hoe rudimentair ook, voor mij een ‘bewijs’ van de potentiële kracht van het leren hanteren van een systematische probleemaanpak. Toegegeven, die kracht hangt, zoals we nog zullen zien, wel sterk af van de mate van inhoudelijke specificiteit van de heuristiek en in dat opzicht schiet bovenstaande driedeling natuurlijk zeer tekort. Dan nog is het gebruik daarvan in het onderwijs niet voor iedereen vanzelfsprekend. Zo was ik, vele jaren later, didactisch adviseur bij de eerstejaars natuurkundewerkcolleges aan de Universiteit Utrecht.

Om de nieuwe studenten meteen op het goede spoor te zetten en duidelijk te maken dat natuurkunde studeren een serieuze zaak was, begon het eerstejaarsprogramma direct met een college relativiteitstheorie. Op de werkcolleges leidde dit meestal tot een regelrechte ramp. De studenten hadden geen idee hoe ze de opgaven die ze voorgeschoteld kregen, moesten aanpakken en dat resulteerde dan ook, zoals gebruikelijk in dat soort gevallen, in het ad hoc uitproberen van de een na de andere beschikbare formule. Deze werkcolleges werden begeleid door studentassistenten, die op hun beurt werden voorbereid door de werkcollegeopgaven te moeten voormaken in een gezamenlijke bijeenkomst met de werkcollegeleiding. Na een aantal weken nam, na een toch wat aarzelende uitvoering van de assistenten, de werkcollegeleider het heft in handen. In een voortreffelijk betoog legde hij uit dat de betreffende werkcollegeopgaven eigenlijk in twee groepen te verdelen waren, de eerste groep betrof problemen die je met het energie-tijd formalisme moest aanpakken, de andere groep draaide om het duo plaats-impuls. Vervolgens gaf hij aan waaraan je dat in de opgaven kon herkennen, en hoe je ze dan inhoudelijk moest aanpakken en oplossen. Het was werkelijk een prima voorbeeld van wat je 'domeinspecifieke heuristieken' zou kunnen noemen. In mijn enthousiasme als didactisch adviseur, stelde ik dan ook onmiddellijk voor om deze heuristieken expliciet in het werkcollege te betrekken. Dat zou voor de studenten immers veel kunnen verduidelijken, dacht ik. Tot mijn verbazing reageerde de werkcollegeleider echter onmiddellijk sterk afwijzend. Dat moest helemaal niet, vond hij, dan zou het immers veel te gemakkelijk kunnen worden voor de studenten en dat was natuurlijk niet de bedoeling! Een wijze les, voor mij als didacticus!

Tot zover twee persoonlijke anekdotes ter inleiding van deze paragraaf over probleemoplossen. Problemen zijn er overal en altijd, in alle soorten en maten, ook in het natuurkundeonderwijs. Traditioneel gezien gaat het daarin meestal om het maken van oefenopgaven, waarin de behandelde theorie moet worden toegepast. Veelal sommen maken, dus, maar problemen zijn er in vele mogelijke varianten. Zo kunnen zij open of gesloten geformuleerd zijn. Bij open problemen zijn er meerdere goede oplossingen, bij gesloten problemen is er meestal maar één. Standaardommen zijn voorbeelden van het laatste, open onderzoek een voorbeeld van het eerste. Problemen kunnen 'goed gedefinieerd' of 'slecht gedefinieerd' zijn. De economische crisis van tegenwoordig (2013) is een voorbeeld van het laatste, men is het zelfs niet eens over de oorzaken en de aard, laat staan over de oplossing! Problemen kunnen uiteraard meer of minder complex zijn, en meer of minder vertrouwd, dat scheelt nogal voor het oplossen. En wanneer heb je eigenlijk een probleem? Simpel gezegd, als je een bepaald doel wilt bereiken, maar je weet niet precies hoe dat zou moeten of kunnen!

Vanaf de jaren zeventig van de vorige eeuw kwam er, zowel internationaal als in ons land, steeds meer onderzoeks aandacht voor probleemoplossen als belangrijke vaardigheid en dus ook voor onderzoek naar onderwijs met als doel 'leren probleemoplossen'. Ook voor natuurkunde. Aanvankelijk had dat nog geen directe consequenties voor het reguliere onderwijs, maar vanaf de WEN werd het belang van probleemoplosvaardigheden steeds sterker benadrukt. Dit gold zeker voor de programma's van de Tweede Fase, die immers sterk waren geënt op het belang van algemene vaardigheden. Het hoogtepunt in de aandacht voor het 'traditionele' probleemoplossen ligt begin

jaren negentig. ‘Ze hebben het wel gehad, maar ze kunnen er niets mee’ was immers de klacht die de Stuurgroep Tweede Fase toen steeds te horen kreeg, met name van het vervolgonderwijs. En dientengevolge moest daar iets aan gebeuren. Vaardigheden, dus! Typerend was bijvoorbeeld het onderzoek van Taconis et al.³⁰⁹ naar de aansluitingsproblematiek tussen VO en HO, die naar hun idee inderdaad veel te maken had met het ontbreken van voldoende aandacht voor probleemoplossingsvaardigheden in het VO. Zo concluderen zij: “Geconstateerd is dat alle eindexamenopgaven in geringere mate een beroep doen op probleemoplossingsvaardigheden dan de corresponderende struikelblokopgaven³¹⁰. Dit betekent echter niet dat het CSE helemaal geen probleemoplossingsvaardigheden toetst. Een klein deel van met name de VWO-opgaven vereist in geringe, maar niet verwaarloosbare, mate probleemoplossingsvaardigheden. Dit leidt tot de veronderstelling dat leerlingen met een extreem hoog eindexamencijfer, wel degelijk over probleemoplossingsvaardigheden beschikken. (...) Tussen eindexamenopgaven van het HAVO en struikelblokopgaven uit de propaedeutische van het HTO kan van een breuk worden gesproken. Ten eerste ten aanzien van de algemene kenmerken van de opgaven: inzicht en begripvragen versus toepassingsvragen. Ten tweede, en daarmee samenhangend, ten aanzien van de aard van de vereiste vaardigheden. De overgang tussen VWO en WO lijkt voor wat betreft het karakter van de voorgelegde toetsopgaven niet het karakter van een discontinuïteit te hebben. Wel is sprake van een duidelijke verschil in frequentie, kwaliteit en kennisinhoud van de probleemoplossingsvaardigheden die nodig zijn.”

Dit onderzoek onderstreept dus het idee dat het nodig was om in het VO meer aandacht te gaan besteden aan het leren probleemoplossen en in de Tweede Fase leerboeken zien we dat dan ook terug (zie figuur 13). In een tweede deelonderzoek kwamen Taconis et al. tot de conclusie dat er een significant positieve correlatie bestond tussen het studiesucces in het HO (gemeten met tentamenresultaten) en beheersing van probleemoplossingsvaardigheden als ‘analyse’ en ‘planning’. Dit roept overigens wel een principiële vraag op, namelijk wat dit zegt over deze vaardigheden. Kunnen we hier eigenlijk wel spreken van een algemene vaardigheid, of worden zaken als probleemanalyse en planning van een oplossing nu juist heel sterk bepaald door de mate van conceptueel inzicht in het voor het probleem relevante begrippenkader? Een vraag die ons noodzaakt om ons nader te verdiepen in wat het oplossen van natuurkundige problemen eigenlijk inhoudt. Gelukkig is er veel literatuur die hier zijn licht op laat schijnen³¹¹.

³⁰⁹ R. Taconis, M. Stevens & M.G.M Ferguson-Hessler (1992). *Probleemoplossingsvaardigheden in het natuurkundeonderwijs van de bovenbouw van het voortgezet onderwijs*. SVO-TUE.

³¹⁰ In hun onderzoek onderzochten ze in welke mate eindexamenopgaven een beroep doen op probleemoplossingsvaardigheden en vergeleken dit met hetzelfde voor struikelblokopgaven uit de propaedeutische van het HO (struikelblokopgaven zijn opgaven die voor de meeste studenten problemen hadden opgeleverd). Deze keuze voor eindexamenopgaven is overigens aanvechtbaar. Het is immers een kenmerk van dat soort opgaven dat ze bestaan uit vele onafhankelijke deelvragen (zie figuur 44), zodat er geen sprake is van een overall oplossingsproces. Dat is bij ‘normale’ tentamenvragen veel meer het geval, wat ze dus ook al snel complexer maakt.

³¹¹ L. Hsu, E. Brewster, T.M. Foster & K.A. Harper (2004). Resource Letter RPS-1: Research in problem solving. *American Journal of Physics*, 72, 1147-1156.

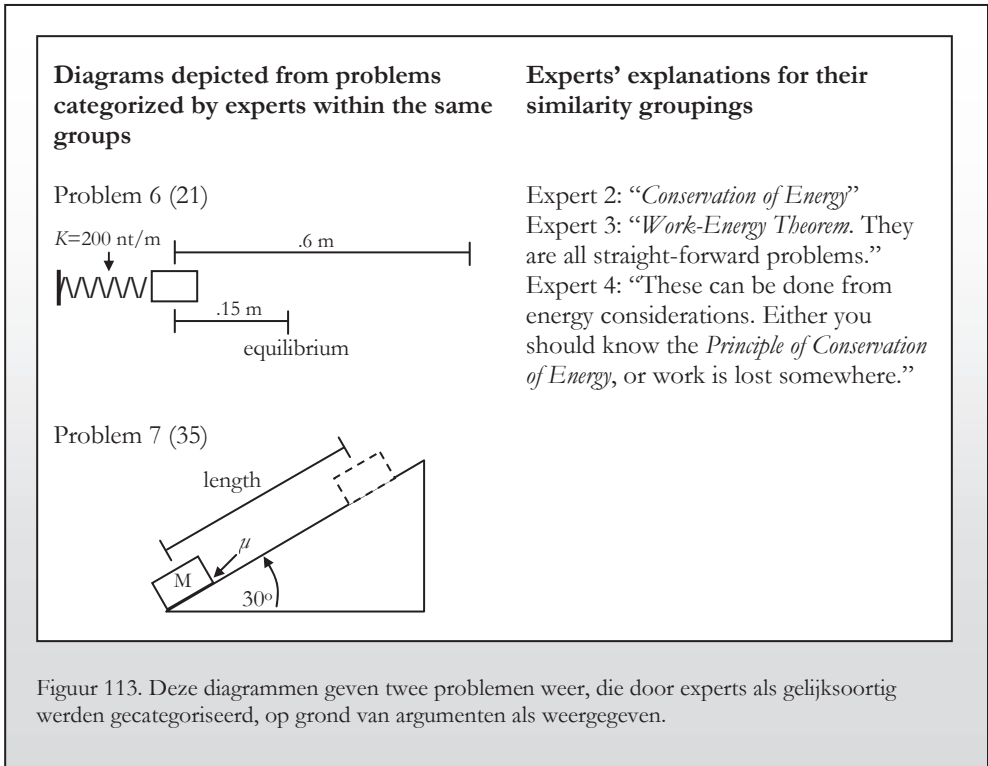
Overigens lijkt de aandacht voor probleemoplossen over zijn hoogtepunt heen. In het ‘Second International Handbook of Science Education’ (zie noot 159) is het geen apart onderwerp meer.

10.1.2 Probleemcategorisering en representatie

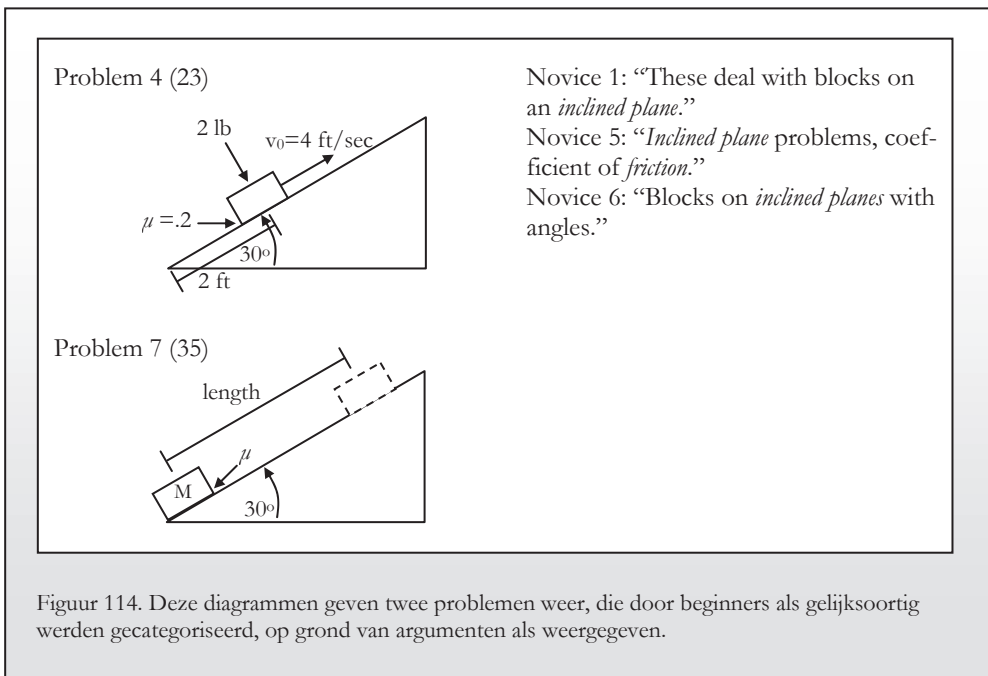
Om te beginnen, bijvoorbeeld, een toonaangevend artikel uit 1981, gepubliceerd door Chi et al.³¹², waarin zij beschrijven hoe verschillend experts natuurkunde problemen categoriseren en representeren, in vergelijking met beginners. Figuur 113 en 114 geven daarvan een voorbeeld. Het betrof steeds ‘end-of-chapter’ mechanica problemen uit een bekend Amerikaans leerboek. Het belang schuilt in het feit dat zo’n aanvankelijke categorisering direct bepalend is voor de oplossingsweg die gekozen gaat worden, omdat het gebeurt op grond van in het geheugen aanwezige probleemschema’s. Het blijkt dan dat beginners in eerste instantie geneigd zijn problemen te classificeren op grond van ‘voorggrondkenmerken’, terwijl experts dat, vanwege hun ervaring, doen op grond van hun ‘diepstructuur’. Omdat deze voorggrondkenmerken onvoldoende richting kunnen geven aan het oplosproces, mede omdat de bijbehorende probleemschema’s nog zwak ontwikkeld zijn, vervallen beginners vaak in chaotisch oplosgedrag, onder andere gekenmerkt door een bijna willekeurig lijkend uitproberen van formules. “By ‘surface structures’, we mean: (a) the objects referred to in the problem (e.g., a spring, an inclined plane); (b) the literal physics terms mentioned in the problem (e.g., friction, center of mass); or (c) the physical configuration described in the problem (i.e., relations among physical objects such as block on an inclined plane). The suggestion that novices categorize by surface structure can be confirmed by examining subjects’ verbal descriptions of their categories. (...) For experts, surface features do not seem to be the bases for categorization. There is neither great similarity in the key words used in the problem statements, nor visual similarity apparent in the diagrams depictable from each pair of problems [figuur 113 en 114]. Nor is the superficial appearance of the equations that can be used on these problems the same. Only a physicist can detect the similarity underlying the expert’s categorization. It appears that the experts classify according to the major physics principle governing the solution of each problem. (...) The verbal justification of the expert subjects confirms this analysis. If ‘deep structure’ is defined as the underlying physics law applicable to a problem; then, clearly, this deep structure is the basis by which experts group the problems.”

Dit expertgedrag zou te maken hebben met de manier waarop voor hen categorisering en het maken van een probleemrepresentatie met elkaar samenhangen. “Under this interpretation, a problem can be at least tentatively categorized after some gross preliminary analyses of the problem features. After a potential category is activated, then the remainder of the representation is constructed for solution with the aid of available knowledge associated with the category.” Zo’n categorie, tezamen met de erbij horende kennis, toepassingsregels en beperkingen daarvan, uit de ‘kennisbasis’, noemt men een ‘probleemschema’. Kort gezegd, een functioneel kennispakket in het geheugen voor het oplossen van een bepaald type probleem. “It is the content of these problem schemata that ultimately determines the quality of the problem representation. Because the character of problem categories is different between experts and novices, we postulate that their problem schemata contain ‘different’ knowledge.” Uiteindelijk komen ze tot de volgende conclusie: “The exploratory studies reported here suggest that problem solving in a rich knowledge domain begins with a brief analysis of the problem statement to categorize the problem. (...) We view the categories of problems as representing internal schemata with the category names as

³¹² M.T.H. Chi, P.J. Feltovich & R. Glaser (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.



Figuur 113. Deze diagrammen geven twee problemen weer, die door experts als gelijksoortig werden gecategoriseerd, op grond van argumenten als weergegeven.



Figuur 114. Deze diagrammen geven twee problemen weer, die door beginners als gelijksoortig werden gecategoriseerd, op grond van argumenten als weergegeven.

accessing labels for the appropriate schemata. (...) We presume that once the correct schema is activated, knowledge – both procedural and declarative – contained in the schema is used to further process the problem in a more or less top-down manner. The declarative knowledge contained in the schema generates potential problem configurations and conditions of applicability for procedures which are then tested with what is presented in the problem statement. The procedural knowledge in the schema generates potential solution methods that can be used on the problem. (...) Experts' schemata contain a great deal of procedural knowledge, with explicit conditions of applicability. Novices' schemata may be characterized as containing sufficiently elaborate declarative knowledge about the physical configurations of a potential problem, but lacking abstracted solution methods."

(...) We view the categories of problems as representing internal schemata with the category names as accessing labels for the appropriate schemata. (...) We presume that once the correct schema is activated, knowledge – both procedural and declarative – contained in the schema is used to further process the problem in a more or less top-down manner. The declarative knowledge contained in the schema generates potential problem configurations and conditions of applicability for procedures which are then tested with what is presented in the problem statement. The procedural knowledge in the schema generates potential solution methods that can be used on the problem. (...) Experts' schemata contain a great deal of procedural knowledge, with explicit conditions of applicability. Novices' schemata may be characterized as containing sufficiently elaborate declarative knowledge about the physical configurations of a potential problem, but lacking abstracted solution methods."

Hiermee zijn we een belangrijk element op het spoor dat bepalend is voor de wijze waarop problemen worden opgelost, maar over het verloop van dat oplosproces weten we nog niet veel. Wel kunnen we natuurlijk de conclusie trekken dat het belangrijk is dat beginners op een of andere manier op het spoor van experts worden gezet, maar de vraag of en hoe dat kan, is daarmee nog niet beantwoord. Ik kom daar straks op terug. Maar ik wil eerst kijken of we iets zinvol kunnen zeggen over het verloop van een probleemoplossingsproces. Ook daarnaar is al in de jaren zeventig veel onderzoek gedaan³¹³. Aanvankelijk vanuit twee verschillende benaderingen, de informatieverwerkingspsychologie en de handelingspsychologie, maar omdat, zoals het hoort, de overeenkomsten daarin steeds groter werden kan ik volstaan met één beschrijving. Die ontleen ik grotendeels aan het werk van Van Weeren et al. en van Mettes & Pilot³¹⁴.

10.1.3 Het verloop van het oplosproces en de SPA-aanpak

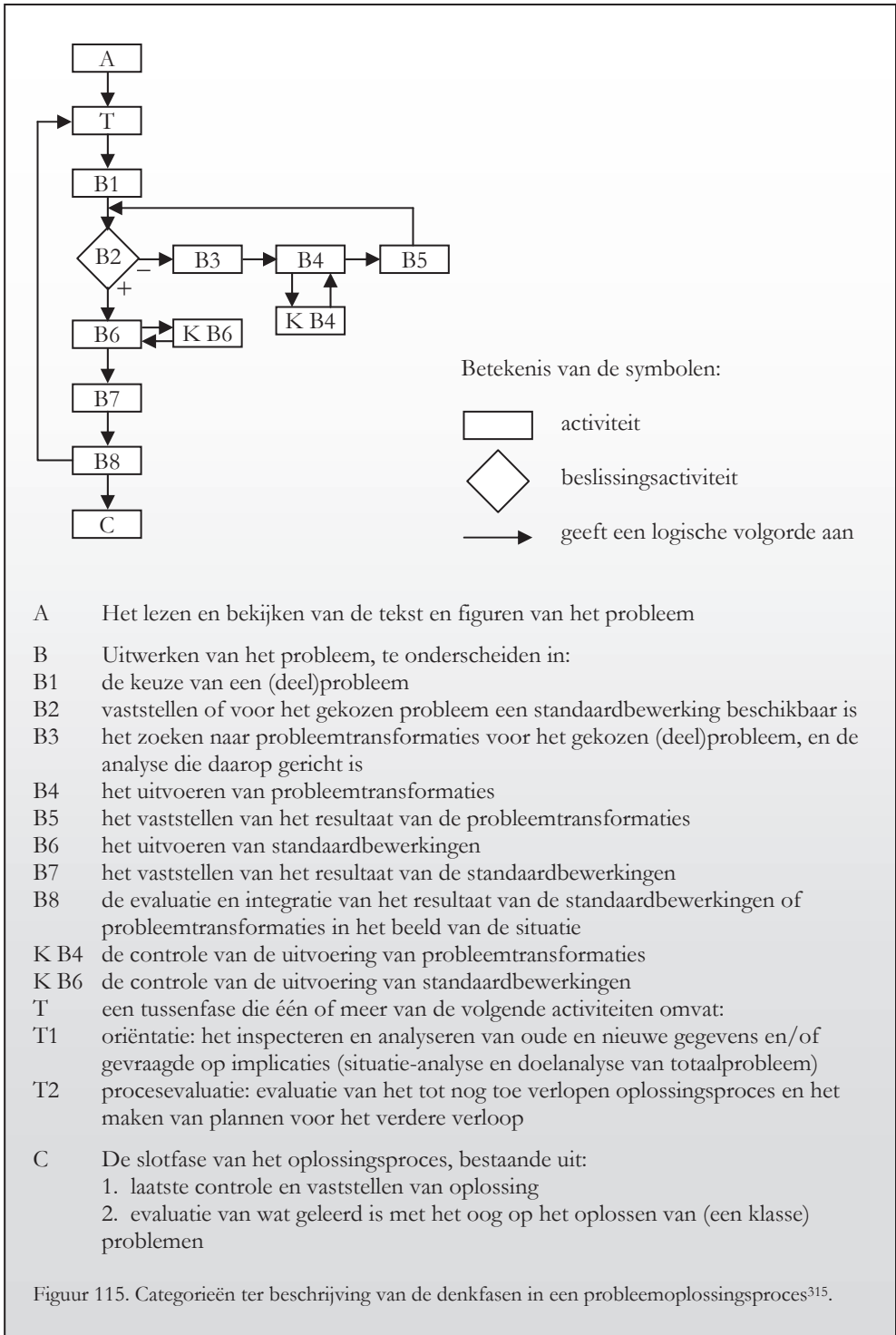
Deze auteurs hebben, op grond van literatuur en op grond van analyse van hardop-denkenprotocollen, een model gemaakt (figuur 115) van de denkfases die het feitelijke verloop van een probleemoplossingsproces beschrijven. Nu zijn er best bezwaren aan te voeren tegen de betrouwbaarheid van hardop-denken, maar daar ga ik even aan voorbij. Net zoals ik niet inga op detailverschillen in het verloop van het oplosproces

³¹³ E. de Corte & A. Borremans (1979). Processen van probleemoplossen: Vergelijking van een Amerikaanse en een Europese visie. *Pedagogische Studiën*, 56, 163-175.

³¹⁴ J.H.P. van Weeren, H. Kramers-Pals, F.F.M. de Mul, M.J. Peeters & H.J. Roossink (1982). Teaching problem-solving in physics: A course in electromagnetism. *American Journal of Physics*, 55, 455-462.

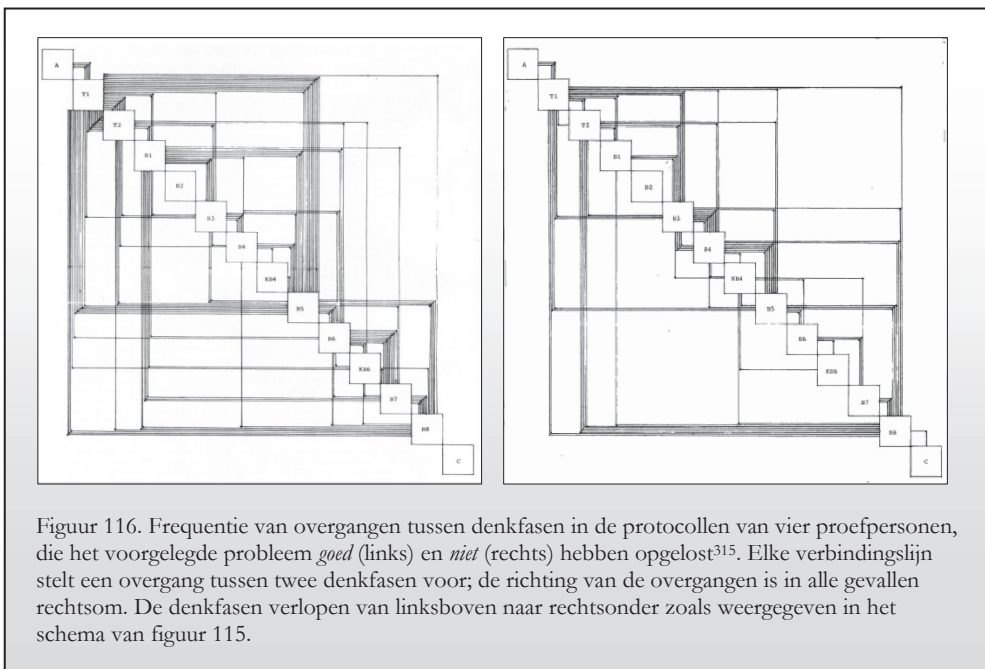
J.H.P. van Weeren, H. Kramers-Pals, F.F.M. de Mul, M.J. Peeters & H.J. Roossink (1979). *Projekt Elektriciteit en Magnetisme*. Enschede: CDO/UT.

C.T.C.W. Mettes & A. Pilot (1980). *Over het leren oplossen van natuurwetenschappelijke problemen*. Enschede: UT.



bij verschillende typen problemen. We herkennen in hun model de driedeling: ‘oriëntatie, uitvoering en controle’, die het verloop bepaalt van wat een volwaardige handeling genoemd wordt. En we weten dan ook al direct dat in het gebruikelijke oplosgedrag van leerlingen (en mensen!) vaak de oriëntatie tekort schiet, de uitvoering gebrekkig is en de controle totaal ontbreekt. Kortom er is ruimte voor verbetering! Illustratief is hoe het verschil tussen goede en slechte probleemoplossers door Van Weeren et al. in beeld is gebracht (zie figuur 116). Wat blijkt daaruit?

- Bij de succesvolle probleemoplossers speelt de analysefase (T1 en T2), zowel ten aanzien van de frequentie van overgangen als ten aanzien van de verblijfstijd in de fase, een grotere rol dan bij de proefpersonen die het probleem niet oplossen.
- Succesvolle probleemoplossers komen vaker dan de niet-succesvollen in de analysefase terug.
- Succesvolle probleemoplossers slaan bij de probleemtransformaties vaak tussenstappen over.
- De niet-succesvollen blijken dikwijls gevangen te zitten in de fasen B3, B4 en B5, wat lijkt te wijzen op een trial-and-error procedure.



Op grond van dit soort gegevens concluderen Van Weeren et al. als volgt:

a. The role of the analyzing phases in the process of problem solving is very important. Much attention has to be paid to this point in the teaching and learning of problem solving.

b. In general non-trained students do not make explicit plans about how to tackle a given problem. In the training of students attention has to be paid to an adequate planning in problem solving.

c. Teachers must be continuously aware of their shortening of the problem-solving process, undoubtedly

due to previous experience, which may actually prevent a useful communication with the students.”

Het is frappant te zien hoe beide onderzoeksbenaderingen elkaar tot nu toe aanvullen. Immers, het feit dat goede probleemoplossers veel tijd doorbrengen in de analyse- en planningsfasen en slechte probleemoplossers niet, zou dat nu niet juist te maken hebben met het feit dat goede probleemoplossers beschikken over goed ontwikkelde diepe-structuur probleemschemata? Op grond waarvan je kunt analyseren en plannen, terwijl de niet-succesvollen het moeten doen met oppervlakkige schemata die weinig richtinggevend zijn en die je daarom dus ook niet vaak hoeft te raadplegen? Het zou zomaar kunnen!

Hoe zou je niet-succesvollen nu tot groter succes kunnen brengen. Ofwel, hoe onderwijs je probleemoplossen? Ook daarin onderkennen we weer dezelfde twee benaderingen. Van Weeren et al. gaan daartoe eerst over tot het beschrijven van een model voor een *gewenst* handelingsverloop (GHV), wat ontstaat door de fasen uit figuur 115 een nadere inhoudelijke invulling te geven. Vanwege de omvang beperk ik me hier tot het weergeven van de belangrijke analyse en planningsfasen (figuur 117). Omdat deze beschrijving ook te omvangrijk was voor gebruik in het onderwijs, werd ze ingekort tot wat een systematische probleemaanpak is gaan heten, de SPA-kaart, waar vele variaties van zijn ontworpen (figuur 118 en 119). Met behulp van zo’n SPA-kaart, aangevuld met een samenvatting van de kernbetrekkingen en een aantal inhoudelijke analyseaanwijzingen werden de studenten getraind in het aanpakken en oplossen van E&M-problemen³¹⁴. Een procedure die ook voor andere onderwerpen, in aangepaste vorm, is toegepast.

- | | |
|----------|---|
| T1: T1.1 | Het maken van een afbeelding van de gegeven situatie (tekening, schets). |
| T1.2 | Het maken van een beeld in E&M-termen van de situatie. |
| T1.2.1 | Het definiëren van het systeem en het vaststellen van de kenmerken ervan. |
| T1.2.2 | Het vaststellen van de kenmerken van de toestanden van het systeem. |
| T1.2.3 | Het vaststellen van de kenmerken van het gevraagde. |
| T1.3 | Het maken van een verdergaande analyse, vooral na een gedeeltelijke bewerking van het probleem. |
| T2: T2.1 | Het maken van mogelijke globale plannen:
- het zich realiseren van mogelijke combinaties van gegevens of van mogelijke relaties tussen gegevens;
- het maken van een entree tot de oplossing van het probleem zonder de gehele oplossingsroute voor ogen te hebben. |
| T2.2 | Het evalueren van het oplossingsproces. |
| T2.3 | Het wijzigen van een eerder gemaakt plan. |

Figuur 117. Een klein deel, fasen T1 en T2, van de beschrijving van een GHV voor Elektriciteit en Magnetisme³¹⁴.

Het is deze SPA-aanpak, als meer of minder uitvoerig systeem van heuristische aanwijzingen, die ook zijn weg gevonden heeft naar het voortgezet onderwijs. Een voorbeeld hiervan zijn we al eerder tegengekomen (figuur 13) en zoals we zien is de heuris-

SPA voor verklaringsvragen

Fase 1. Analyse van het probleem

1. Lees de opgave grondig. Zet bijvoorbeeld na elk gegeven een streepje.
2. Maak op papier een schets of schema van het probleem om alles in één oogopslag te overzien.
3. Herformuleer het gevraagde:
 - a. in eigen woorden,
 - b. als... dan...,
 - c. schematisch.
4. Markeer of noteer gegeven betrekkingen.
 - Noteer kenmerkende eigenschappen van de zaken waarvoor je een verklaring moet geven.
5. Noteer welk soort verklaring wordt verwacht.
 - Controleer of je een goed en volledig beeld van de situatie hebt.

Fase 2. Omwerking van het probleem

Kun je de verklaring al uitschrijven? Zo ja, ga dan door naar fase 3. Zo nee:

6. Noteer mogelijk bruikbare betrekkingen.
 - Splits het probleem zo nodig in deelproblemen en kies een eerste deelprobleem.
 - Noteer welke relaties mogelijk bruikbaar zijn door met behulp van je analyse na te gaan:
 - a. welke gevolgen gegeven oorzaken kunnen hebben,
 - b. welke oorzaken er zijn voor een gegeven gevolg,
 - c. of er nog andere relaties zijn die verband houden met de kenmerkende eigenschappen.
 - Controleer de betrekkingen op geldigheid in de probleemsituatie.
7. Werk het probleem om.
 - Probeer een verbinding te leggen door vanuit twee kanten te werken.
 - Herhaal de voorgaande stappen zolang de verklaring nog niet volledig is (als nog verbindende schakels ontbreken), bijvoorbeeld door kenmerkende eigenschappen van tussenresultaten op te sporen.

Fase 3. Uitschrijven van de verklaring

8. Schrijf de redenering en het resultaat overzichtelijk op.

Fase 4. Controle van het resultaat

9. Controleer of het antwoord een volledig antwoord op de gestelde vraag is.
10. Controleer of een voorbehoud nodig is (geldt alleen indien...)
 - Controleer het resultaat door na te gaan of de verklaring als geheel aannemelijk is voor jezelf.
 - Controleer of de verklaring aannemelijk is voor een beoordelaar.
11. Ga na wat je hebt geleerd bij het oplossen van dit probleem.

Figuur 118. Een oriënterende kaart met een SPA voor verklaringsvragen. Uit Terlouw c.s.³¹⁶.

SPA voor berekeningsvragen

Fase 1. Analyse van het probleem

1. Lees de opgave grondig. Zet na elk gegeven een streepje.
2. Maak op papier een schets of schema van het probleem om alles in één oogopslag te overzien. Zet alle gegevens in de juiste symbolen en vaktermen bijeen.
3. Noteer wat wordt gevraagd, zo mogelijk in mathematische symbolen.
4. Noteer mogelijk bruikbare reactievergelijkingen en evenwichtsvoorwaarden.
5. Noteer een schatting (eenheid, aantal significante cijfers, mogelijk ook orde van grootte).

Fase 2. Omwerking van het probleem

Kun je volstaan met routinebewerkingen? Zo ja, ga dan door naar fase 3. Zo nee:

6. Noteer mogelijk bruikbare betrekkingen.
 - Splits het probleem zo nodig in deelproblemen en kies een eerste deelprobleem.
 - Noteer die betrekkingen die waarschijnlijk bruikbaar zijn, door vanuit het gevraagde en de gegevens te kijken naar:
 - a. mogelijke reactievergelijkingen en evenwichtsvoorwaarden,
 - b. een overzicht van betrekkingen, bijvoorbeeld in je schoolboek of zelfgemaakt,
 - c. betrekkingen die direct uit de gegevens volgen,
 - d. betrekkingen die algemeen zijn of uit andere vakgebieden komen.
 - Controleer de betrekkingen op geldigheid in de probleemsituatie.
7. Werk het probleem om.
 - Probeer de verbinding te leggen tussen gevraagde en gegevens. Begin bij voorkeur bij het gevraagde.
 - Als je de oplossing nog niet ziet, probeer dan:
 - a. het probleem te vereenvoudigen,
 - b. het probleem eens heel anders te formuleren of vanuit een ander gezichtspunt te zien,
 - c. een analoog probleem op te lossen,
 - d. het probleem een tijdje te laten rusten.

Fase 3. Uitschrijven van de uitwerking

8. Schrijf de uitwerking en de uitkomst overzichtelijk op.
 - Controleer zeer frequent of alle tekens, machten en eenheden zijn meegenomen en of het resultaat nog zinnig is.

Fase 4. Controle van het resultaat

9. Controleer of je wel een antwoord op de gestelde vraag hebt gegeven.
10. Controleer het resultaat door het te vergelijken met de prognose (teken, eenheid, schatting).
11. Ga na wat je hebt geleerd bij het oplossen van dit probleem.

Figuur 119. Een oriënterende kaart met een SPA voor berekeningsvragen. Uit Terlouw c.s.³¹⁶.

tiek in die figuur nog algemener geformuleerd. Zo heeft de SLO in 1991 een instructieboekje gemaakt voor het scheikundeonderwijs, om leerlingen te helpen met een SPA-aanpak bij het maken van scheikundeopgaven³¹⁵. Veel docenten en leerlingen waren hier, naar verluid, heel tevreden over. Ook is SPA gebruikt voor het trainen van scheikunde eindexamenopgaven, voor scheikundig rekenen en voor het oplossen van scheikundige verklaringsproblemen³¹⁶.

10.1.4 Probleemschema's

Als we nu deze SPA nader beschouwen dan blijkt dat de heuristische aanwijzingen, hoe nuttig ook, nogal algemeen van aard zijn. Natuurlijk kan dat helpen bij het oplossen van een probleem, zeker als je vast zit, maar deze SPA-heuristiek heeft op mij toch altijd een onbevredigende indruk gemaakt. Dat komt omdat de heuristiek eigenlijk geen inhoudelijke aanwijzingen geeft. Als ik weer even terug ga naar het eerder beschreven inhoudelijke verschil tussen de probleemcategorisatie van experts en beginners, dan zou je willen dat een heuristiek je op de inhoudelijke weg zet naar een expertaanpak, in plaats van het beter structureren van een beginnersaanpak. Hoe zinvol dat laatste ook kan zijn. We hebben gezien dat de expertaanpak grotendeels bepaald wordt door de aanwezige inhoudelijke probleemschema's. Reden om nader te gaan kijken naar hoe die 'kennisbasis' dan wel is opgebouwd. Ferguson-Hessler³¹⁷ onderscheidt daarin vier verschillende kennissoorten.

1 Declaratieve kennis – Deze categorie bestaat uit definities, begrippen, formules, principes, etc. Het zijn de dingen die je moet weten of in ieder geval moet kunnen opzoeken. De leerboeken staan er vol van. Uit deze beschrijving volgt al dat je declaratieve kennis op verschillend niveau van inzicht, dat wil zeggen van kwaliteit, kunt hebben. Een kwaliteitsverschil dat kenmerkend is voor verschil tussen experts en beginners. Het is iets anders een definitie te kunnen reproduceren, dan te begrijpen. Dat laatste blijkt uit hoe je hem gebruikt, wat leidt tot een tweede categorie.

2 Procedurele kennis – Hieronder verstaat men alles wat je met declaratieve kennis kunt doen. Ofwel, wat je moet weten om te kunnen handelen met declaratieve kennis, en in die zin een belangrijk onderdeel van inzichtelijk kunnen handelen. Ook hierin is natuurlijk sprake van kwaliteitsverschil, mate van geoefendheid en uitgebreidheid, tussen experts en beginners. Je moet declaratieve kenniselementen adequaat kunnen proceduraliseren. Maar dan nog ben je er niet.

3 Situationele kennis – Dit is een sterk ondergewaardeerde, maar naar mijn overtuiging uiterst belangrijke categorie. Zoals Ferguson-Hessler opmerkt kan men kennis van situaties formeel tot declaratieve kennis rekenen, maar deze kennis speelt wel een

³¹⁵ G. Jansen & J. Hondebrink (1991). *Hoe pak ik een probleem aan?* Enschede: SLO.

³¹⁶ C. Terlouw, H. Kramers-Pals & A. Pilot (2004). Over het leren aanpakken van eindexamenopgaven bij scheikunde in het voortgezet onderwijs. *TD-β*, 21, 107-144.

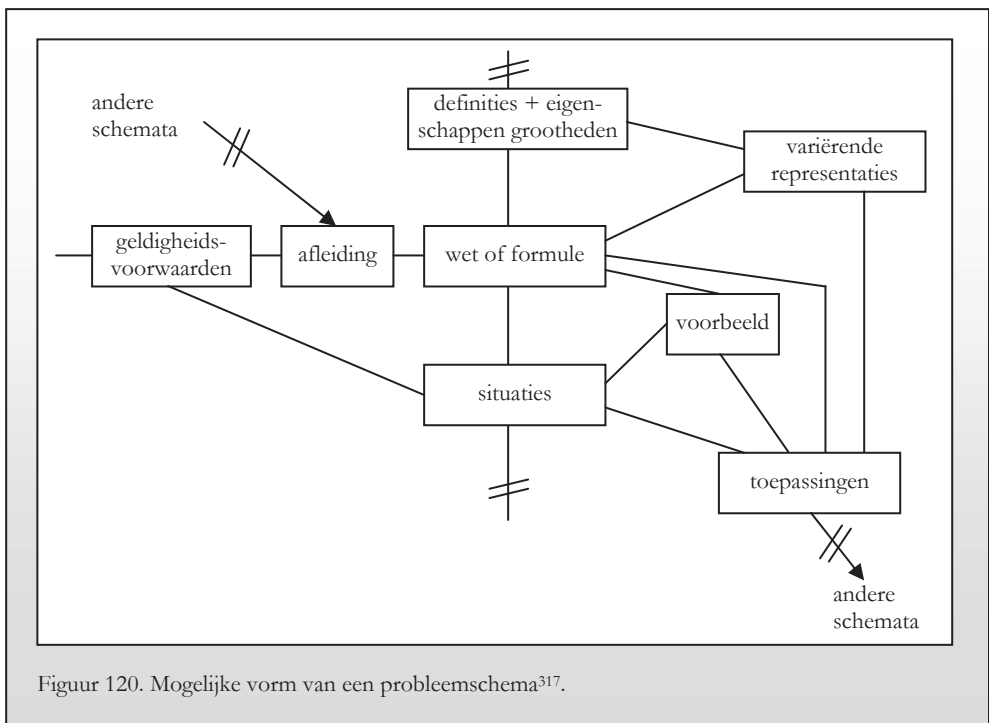
O. de Jong (1990). *Rekenen aan reacties, een didactische studie van chemische berekeningen in begin bovenbouw havo/vwo*. Utrecht: CD-β.

H. Kramers-Pals (1994). Leren oplossen van verklaringsproblemen in het scheikunde-onderwijs. Enschede: UT. Zie ook het themanummer van *TD-β* over probleemoplossen, jaargang 12, nr.3.

³¹⁷ M. Ferguson-Hessler (1989). *Over kennis en kunde in de fysica*. Eindhoven: TUE.

aparte rol bij het oplossen van problemen. “Deze heeft te maken met het herkennen van elementen van een gegeven probleemsituatie, die relevant zijn voor het zoeken in het geheugen naar informatie (declaratieve en procedurele kennis) voor de oplossing, en met het kunnen trekken van conclusies over de situatie en de mogelijke ontwikkeling daarvan in de tijd. Voorbeeld: het noteren dat een condensator aangesloten is op een constante spanningsbron, en het daaruit concluderen dat de spanning over de condensator dus altijd constant is, ook als de plaatafstand of een andere karakteristieke eigenschap van de condensator verandert, maar dat zijn totale lading juist niet constant is.” Naar mijn idee vindt de eerder beschreven categorisering van een probleem nu juist in eerste instantie plaats op grond van situationele kenmerken, en dus is het uiterst belangrijk om er achter te komen hoe experts dat nu precies doen. Dat is niet eenvoudig omdat hier veelal sprake is van een grote hoeveelheid ‘tacit knowledge’, dat wil zeggen van slechts moeilijk toegankelijke ervaringskennis. Ofwel, datgene wat een expert nu juist tot een expert maakt.

4 Strategische kennis – Deze is gericht op de globale manier van aanpakken van problemen en van het (zelf) sturen van het oplosproces. Ze is dus algemener van aard dan de andere vormen van kennis, die vakinhoudelijk zijn. De zojuist beschreven SPA-heuristiek valt in deze categorie.



Figuur 120. Mogelijke vorm van een probleemschema³¹⁷.

Hieruit zien we dat er voor leren probleemoplossen meer aan de hand is dan het leren hanteren van een algemene heuristiek. We moeten ook aandacht besteden aan de vakinhoudelijke kennisbasis. Hoe kunnen we die optimaal krijgen voor het gestelde doel? Als we er van uitgaan dat de kennisbasis van experts is opgebouwd uit probleem-

schema's die optimaal zijn gestructureerd op grond van hun ervaring, hoe ziet zo'n schema er dan uit? Ferguson-Hessler geeft daarvan een hypothetische structuur, die is weergegeven in figuur 120. Zij licht deze structuur als volgt toe. *“Dit schema is een symbolische weergave van de structuur van de kennis in het geheugen. In de figuur is te zien dat de kennis borend bij één centraal begrip of formule daaromheen gegroepeerd is. Zo'n schema bevat alle kennis die nodig is om de wet of het begrip toe te passen bij probleemoplossen: declaratieve, procedurele en situationele kennis.*

In het midden van de figuur is de formule of het begrip te vinden, die de kern van het schema vormt, en dus letterlijk de functie van “kernbetrekking” (Mettes en Pilot, 1980³¹⁴) vervult. De verschillende elementen van kennis (...) zijn in beknopte vorm terug te vinden in de blokjes van het schema. De lijnen die de verschillende elementen van kennis verbinden geven associaties aan, die in het ideale geval in beide richtingen lopen; ze hebben echter niet de betekenis van ordening wat betreft plaats of tijd. De plaats van de verschillende blokken in het schema heeft evenmin enige betekenis, de topologie van het schema wel. (...)

Deze vorm van kennisstructuur is efficiënt voor probleemoplossen: de oplosser wordt immers in eerste instantie geconfronteerd met een situatie, en moet in de eerste fase van het oplosproces een initiële representatie opbouwen, dat wil zeggen een voorstelling van de situatie en het gevraagde. De in het geheugen aanwezige kennis van situaties vergemakkelijkt dit proces op twee manieren: de interpretatie van de aangeboden beschrijving wordt voor een gedeelte een kwestie van herkenning, en er ontstaan verwachtingen over te vinden informatie, die er voor zorgen dat belangrijke onderdelen daarvan niet over het hoofd gezien worden. Associaties met relevante elementen van declaratieve kennis zorgen er dan voor dat deze beschikbaar komen om conclusies te trekken over de gegeven situatie en de mogelijke verdere ontwikkeling daarvan, en om het oplosproces vast te stellen. Tegelijk wordt de relevante procedurele kennis ook uit het geheugen gehaald en is zo beschikbaar voor het uitvoeren van de oplossing. Bij geoefende oplosers lopen deze processen grotendeels automatisch.”

Op zich een plausibele theorie en dus kun je je afvragen: wat betekent dit nu voor het onderwijzen van natuurkunde en in het bijzonder van probleemoplossen? Kort gezegd, we moeten er voor zorgen dat leerlingen een kennisbasis van voldoende kwaliteit opbouwen, waar ze ook voldoende ervaring mee hebben kunnen opdoen. Twee zaken die elkaar uiteraard onderling beïnvloeden, maar die op zich nog niet zoveel zeggen. Immers, hoe doen we dat dan? Een beginner zal, om te beginnen, heel andere schema's in zijn geheugen hebben, grotendeels bestaand uit de eerder beschreven leefwereldkennis, met associatieve koppeling aan leefwereldsituaties. Het is ook redelijk te veronderstellen dat deze kennis veel minder verbaal is opgeslagen, maar veel meer episodisch. Hoe dan ook, deze kennis moet geleidelijk aangevuld worden met, of omgevormd worden tot, natuurkundige kennis. En daarbij moeten we alle zaken in acht nemen, die we hiervoor zijn tegengekomen. Aandacht voor de ‘ancillary knowledge’ van Reif, de coherentie en details van Viennot, eventueel met behulp van op te roepen cognitieve conflicten, al of niet door middel van ICT of ‘inquiry learning’, etc. Dit alles leidt, als het goed is, tot een kwalitatief goed ontwikkelde basis van geproceduraliseerde declaratieve kennis. Tot zover niets nieuws, maar daarmee zijn we er nog niet. Mijn werkcollegeleider in gedachten nemend is er immers ook een cruciale rol weggelegd voor situationele kennis. Een categorie die gewoonlijk alleen impliciet aan de orde komt bij het maken van oefenopgaven. Net als bij het werkcollege relativiteitstheorie geldt echter voor alle schoolnatuurkunde dat de variatie in op te lossen

problemen slechts beperkt is. Zo zijn de mechanica-opgaven, in overeenstemming met de mechanica zelf, onder te verdelen in kinematische, statische, dynamische en energetische problemen. Gegeven de beperkte hoeveelheid formules die beschikbaar is voor leerlingen, is er binnen iedere categorie ook slechts een beperkte variatie aan kwantitatieve vraagstellingen mogelijk en dus ook slechts een beperkte variatie aan relevante oplosstrategieën. Zo zijn de kwantitatieve kinematische problemen onder te verdelen in problemen die focuseren op objecten met constante snelheid, dan wel met constante versnelling. Natuurlijk zijn er ook complexe vraagstellingen mogelijk, maar die zijn dan opgebouwd uit enkelvoudige deelproblemen uit deze categorieën. Zo draaien statica-problemen rond evenwicht van krachten of momenten, dynamica rond de wetten van Newton, met als bijzondere categorie de botsingsproblemen rond impulsbehoud, energetica gaat over behoud van energie en arbeid. Het is precies deze categorisering die we herkennen in de eerder beschreven keuzen van experts en die ook overeenkomt met de probleemschema's uit het onderzoek van Taconis³¹⁸.

Probleemoplossen begint dus met het herkennen van een (deel)probleem als behorend tot een bepaalde categorie, waarmee ook tegelijk gekozen wordt voor een bepaalde, bij die categorisering horende, aanpak. Ons probleem wordt dan hoe deze categorisering te onderwijzen. Taconis volgde ruwweg dezelfde gedachtegang in zijn ‘understanding-based problem solving’. Zijn ‘understanding’ was niet alleen gebaseerd op aandacht voor misconcepties, maar ook liet hij leerlingen expliciet discussiëren over hoe je een probleem het beste kunt aanpakken. Zelf denk ik eerder aan het inzetten van domeinspecifieke heuristieken die leerlingen kunnen helpen bij het komen tot een relevante probleemherkenning. Heuristieken die enerzijds aansluiten bij de wijze van probleemcategorisering van beginners, maar deze, anderzijds, tegelijk relateren aan een meer expertgerichte aanpak. Iets wat, denk ik, alleen kan in goede afstemming met de behandeling van de theorie. Laat ik dit toelichten.

10.1.5 Afwisseling van actie en reflectie

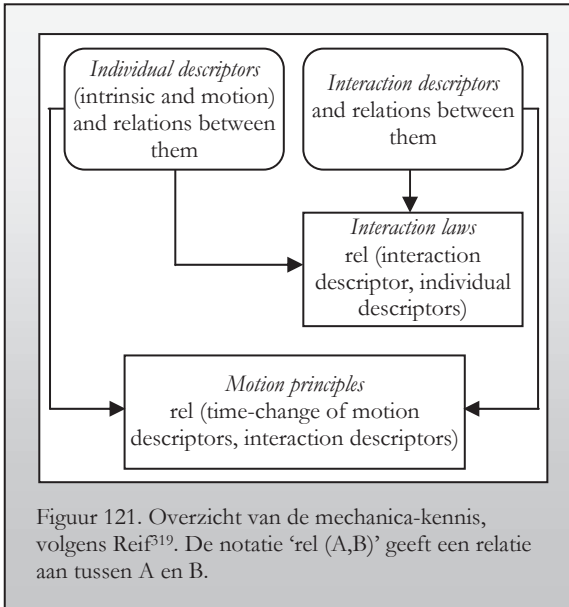
Stel dat we de kinematica willen behandelen. Dan zullen we met een gerichte ervaringsbasis voor en oriëntatie op het onderwerp ‘bewegingen beschrijven’ moeten beginnen, en dit laten resulteren in de behandeling van de relevante begrippen, formules en situaties. Als onderdeel van deze behandeling zullen leerlingen een variëteit van relatief eenvoudige oefenopgaven moeten maken, om de theorie ‘in de vingers’ te krijgen. Tot zover niets nieuws, als we even afzien van de eerder gemaakte opmerkingen over scherpere aandacht voor begripsvorming. Maar hoe nu verder? Na deze basistheorie lijkt me een reflectieve onderwijsfase nodig om tot verdieping te komen. Reflectie, zowel op de geleerde kennis als op de opgeloste problemen, om expliciet te werken aan de opbouw van goede probleemschema's. Reif³¹⁹ heeft indertijd het belang van een hiërarchische organisatie van een kennisbasis beargumenteerd. “*The mere availability of knowledge consisting of individually valuable concepts and principles may be practically just as useless as the mere availability of a large file cabinet full of individual file folders containing valua-*

³¹⁸ R. Taconis (1995). *Understanding Based Problem Solving*. Eindhoven: TUE.

³¹⁹ F. Reif (1984). Understanding and teaching problem solving in physics. In: *Research on Physics Education: Proceedings of the first international workshop La Londe les Maures* (pp. 15-53). Paris: CNRS.

ble information. In both cases, the utility of the information depends crucially on how effectively the entire information is organized so that particular items can be appropriately retrieved for various tasks. (...) The following question is thus of major importance: How can a person organize his or her knowledge effectively so that this knowledge can be easily remembered and selectively retrieved to facilitate the search for problem solutions."

Zoals hierboven gezegd, veronderstelt Reif dat een hiërarchische ordening van kennis dicht staat bij de kennisorganisatie van experts en dat het dus leerlingen zal helpen als



ook zij leren hun kennis zo te organiseren. *"At a gross level, the entire knowledge about mechanics may be summarized in the manner indicated in [figuur 121], which shows that the entire knowledge consists basically of four major kinds of knowledge. In particular, two kinds of concepts (descriptors) are used to describe the entities of interest (which are particles and systems of such particles). Some of these concepts describe individual particles or systems, the others describe the interaction between them. In addition, interaction laws specify how the concepts describing interaction are related to the concepts describing the individual interacting systems. Finally, the important motion principles*

specify how the concepts describing motion change with time as a result of the interactions. Each of the preceding kinds of knowledge can, in turn, be elaborated at a more detailed level."

Voor onze reflectie op de onderwezen kinematica betekent dat dus dat we alle declaratieve en procedurele kennis nog eens in zijn hiërarchische samenhang samenvatten. Daarmee zijn we er nog niet. Vervolgens moeten we ook structuur aanbrenge in de situaties die behandeld zijn, en in de soort problemen die aan de orde zijn geweest. Op die manier ontstaat een typologie van problemen, gerelateerd aan kenmerkende inhoudelijke aspecten en manier van aanpak. Daarmee maken we een koppeling tussen de kennisstructuur en de probleemtypologie. Vervolgens kunnen we deze geëxpliciteerde kennis- en probleemstructuur verder ontwikkelen door nu een aantal complexe problemen op te gaan lossen. In reflectie op eerste pogingen daartoe, kan vervolgens een additionele SPA-heuristiek worden geëxpliciteerd. Deze laatste is dan echter niet meer uitsluitend in algemene termen geformuleerd, maar tevens gevuld met inhoudelijke specificaties.

Deze hypothetische aanpak kan er, mijns inziens, toe leiden dat een beter georganiseerde kennisbasis ontstaat, waar domeinspecifieke en algemene probleemoplosheuristieken functioneel deel van uitmaken. Mijn reden om dit door afwisseling van actieve en reflectieve onderwijsfasen te doen is omdat is gebleken dat het direct aanbieden van heuristieken weinig zin heeft als er niet eerst een probleem is ervaren waarvoor de

heuristisch een oplossing kan bieden. In de praktijk zal deze opzet ongetwijfeld de nodige moeilijkheden opleveren, maar ik ben er van overtuigd dat het zeer de moeite waard zou zijn om dit uit te proberen. Natuurlijk is de kinematica hierin maar een begin, niet meer dan een voorbeeld. Door deze werkwijze consistent toe te passen, als doorlopende leerlijn, kan een zich steeds verder uitbreidende kennisbasis ontstaan, die steeds functioneel gekoppeld blijft aan inhoudelijke probleemcategoriën en aan heuristisch probleemoplosgedrag. Voor dit laatste is het trouwens ook belangrijk dat zowel docent als leerboek steeds hun heuristische denkstappen expliciteren. Zodat daardoor althans een deel van de ‘tacit knowledge’ van experts zichtbaar wordt in de klas. Indachtig mijn eerste wiskundedocent kan zulk consistent voorbeeldgedrag immers ook daadwerkelijk voorbeeldig gaan werken voor leerlingen!

10.1.6 Afronding

Is het nu in de praktijk gelukt om leerlingen probleemoplossingsvaardigheden te leren, zoals algemeen werd aanbevolen? Taconis et al. hebben daar in een meta-analyse van beschikbare interventie-experimenten over gerapporteerd. Hoewel er natuurlijk allerlei haken en ogen zitten aan zo’n metastudie, komen zij (onder andere) tot de volgende conclusies:

“- *The independent variables distinguishing successful intervention from less successful ones are those stimulating the construction of an adequate knowledge base (problem schemata) and demonstrating the skilful use of this knowledge in science problem solving. Focusing on strategic knowledge alone (i.e. general problem-solving heuristics) was found to have negative effect.*³²⁰

- *Learning conditions characteristic for the successful interventions include immediate feedback to the learners and external guidelines and criteria. Although the information given in feedback or guidelines focuses on the process and the external product of the intervention task, it turns out to have a positive effect on the learning outcome.*

- *Letting students work in small groups does not improve problem-solving education unless the group work is combined with other measures that have shown to be efficient – for instance, attention for schema construction, external guidelines, and immediate feedback. In our study, group work showed a significantly negative effect.*

- *(...) It was found that the cognitive activities involved in successful interventions do not have to coincide with those of the goal task of science problem solving. Studying worked examples or concept mapping may also contribute to the mastery of science problem solving. The important aspect of these activities is that they stimulate the development of the knowledge base and thinking skills. (...)*

- *In the perspective of our theoretical model of the role learning tasks play in the acquisition of problem-solving skills, we conclude that cognitive activities leading to enrichment of the knowledge base are of great importance. Purely practicing problem-solving skills seems to be effective only when the functioning of the knowledge in the process becomes clear and the interaction between cognitive activities and knowledge is illustrated.”³²¹*

³²⁰ R. Taconis, M.G.M Ferguson & H. Broekkamp (2001). Teaching problem solving: An overview of experimental work. *Journal of Research in Science Teaching*, 38, 442-468.

³²¹ In een recente studie laat Henk Pol zien dat het geven van leerlinggestuurde feedback, in de vorm van hints, door een computerprogramma een positief effect heeft op het probleemoplossen van deze leer-

Hoe moeten we deze conclusies nu interpreteren? In ieder geval roepen ze bij mij herinneringen op aan de discussie over probleemoplossen als algemene vaardigheid, zoals die in de eerste helft van de jaren negentig werd gevoerd³²². Zo schreef ik toen als volgt: “*Enkele jaren geleden was er in het tijdschrift ‘Pedagogische Studiën’ een interessante discussie tussen [de wiskunde-didacticus] Treffers en [de onderwijskundige] Knoers. Treffers argumenteerde voor het bestaan van ‘domeinspecifieke leertheorieën’, iets wat door Knoers werd afgewezen. De laatste beargumenteerde dat de onderwijspsychologie tot taak heeft de algemene principes van onderwijsleerprocessen te beschrijven en te verklaren*³²³. *Als een van de resultaten van deze discipline noemde hij de vaststelling dat er, onafhankelijk van de leerinhouden, slechts een beperkt aantal leerprocessen te onderscheiden is, met ‘probleemoplossen’ als hoogste vorm. Het gaat om ‘leren denken’. Hij lichtte dit toe met het voorbeeld dat zowel het maken van een natuurkundesom, als het vinden van een goede Duitse naamsvorm voorbeelden zijn van succesvol probleemoplossen. Dat moge op zich een juiste classificering zijn, de vraag is of het voor de analyse van onderwijsleerproblemen en voor onderwijsconstructie ook een zinvolle classificering is. Helpt het een leerling bij het maken van een natuurkundesom als hij al in staat is het probleem van de Duitse naamsvorm op te lossen? En helpt het de leraar bij het onderwijzen van natuurkunde als hij weet dat de leerling de Duitse naamsvormen al kan vinden? Is het derhalve voor onderwijsvormgeving zinvol om te zeggen dat er sprake is van een algemene vaardigheid? Naar mijn idee is dat NIET het geval. Immers, het woord vaardigheid is een korte manier van zeggen dat men vaardig is in IETS. Dat iets kan niet probleemoplossen zijn, want net zo als een kind al in staat is problemen op te lossen waarmee het vertrouwd is, net zo is elke volwassene nauwelijks in staat problemen op te lossen waarmee hij niet vertrouwd is. Kortom, probleemoplosvaardigheden bestaan niet los van het vaardig beheersen van de inhoudelijke kennis die in de op te lossen problemen aan de orde komt. En daarom is het vinden van een Duitse naamval niet zinvol te vergelijken met het oplossen van een natuurkundesom. Het moge tot op zekere hoogte zinvol zijn probleemoplossen als beschrijvende algemene categorie voor leerprocessen te hanteren, daarmee is het nog niet in zijn algemeenheid een onderwijsbare categorie.*”

In mijn toenmalige afwijzing van probleemoplossen als nieuw te onderwijzen vaardigheid voor het geconstateerde gebrek aan wendbaar bruikbare kennis bij leerlingen, wees ik op het toen recente onderzoek naar allerlei begripsproblemen (zoals in hoofdstuk 8). Naar mijn idee moest daaruit de conclusie getrokken worden dat het nagestreefde inzicht niet werd gehaald, en dat de remedie daarvoor niet was om een algemene vaardigheid toe te voegen, maar om nieuwe manieren te vinden om dat noodzakelijke inzicht wél te halen. Daarbij verstond ik onder inzicht niet alleen een dieper begrip, maar met name ook het inzichtelijk met kennis kunnen handelen. “*Onder inzichtelijk handelen versta ik dat leerlingen hun begrippen adequaat kunnen gebruiken in allerlei situaties. Dat ze weten wat ze doen en waarom ze het zo doen.*”³²² In termen van het voorgaande betekent dit dat ik onder inzichtelijk handelen, het kunnen hanteren van zowel declaratieve kennis, als procedurele en situationele kennis versta. Ten aanzien van kennis hebben

lingen. H. Pol (2009). *Computer Based Instructional Support during Physics Problem Solving: A Case for Student Control*. Groningen: RUG.

³²² VALO-Natuurwetenschappen (1993). *Reader ten behoeve van Symposium over Probleemoplosvaardigheden*. Enschede: SLO.

P.L. Lijnse (1994). Probleemoplossen en algemene vaardigheden: een poging tot discussie. *TD-β*, 12, 246-260.

³²³ A.M.P. Knoers (1986). Curriculumontwikkeling en leertheorie. *Pedagogische Studiën*, 63, 195-204.

we geleerd dat algemene kennis niet als zodanig valt aan te leren. Kennis wordt contextgebonden aangeleerd, generalisering treedt op door uitbreiding van contexten en door reflectie daarop. En zelfs dan blijft transfer beperkt tot kleine stappen. Voor vaardig handelen met die kennis kan het dus niet anders zijn. Het was dan ook mijn overtuiging dat het onderzoek naar begripsproblemen in feite het toen geconstateerde gebrek aan oplossingsvaardigheden verklaarde. Voor zover er geprobeerd is om ‘probleemoplossen’ direct als algemene vaardigheid, bijvoorbeeld door middel van speciale trainingsprogramma’s, te onderwijzen, was het resultaat zeer beperkt. Dat leek me ook te gelden voor onderwijs door middel van algemene heuristieken, zoals de SPA-methode, voor zover hiervan althans verwacht wordt dat deze de algemene vaardigheid onderwijst. Wat overigens onverlet laat dat deze methode enige steun kan bieden bij het oplossen van specifieke problemen, zeker als de oplosser even niet meer weet hoe verder te gaan. In mijn scepsis ten aanzien van probleemoplossen als algemene vaardigheid stond ik overigens niet alleen. Hennessy et al.³²⁴ schreven, bijvoorbeeld, het volgende: *“‘Problem solving’ is a highly abused term in education these days. (...) Where problem-solving processes are seen as important, there is an unvalidated claim to the effect that generally useful problem-solving skills are being developed and subsequently applied in different kinds of activities. Such skills have the appealing potential to transfer across subject boundaries as well as to activity outside school and in adult life.”* Verderop in hun artikel kwamen zij echter tot de volgende conclusie: *“However, the research on expert problem-solving and situated cognition points to the conclusion that the idea of a general problem-solving capability that can be used in a variety of contexts and subject areas again has little empirical justification.”*

Een conclusie die trouwens ook al door anderen werd getrokken, die als volgt schreven³²⁵: *“Het merendeel van de onderzoeksresultaten naar probleemoplossen steunt deze redenering [ten aanzien van het bestaan van algemene probleemoplossingsvaardigheden] niet. Er treedt over het algemeen verbazingwekkend weinig ‘transfer’ op. (...) Momenteel hebben meer theoretici vertrouwen in de domein-specifieke benadering. Zij gaan ervan uit dat problemen kunnen oplossen een vaardigheid is die zodanig specifiek verbonden is met bepaalde inhoudsgebieden (domeinen van kennis) dat het niet mogelijk of zinvol is algemene trainingen op te zetten. (...) Het wijd verbreide geloof in het bestaan van algemene kennis en vaardigheden die onafhankelijk van de context gerepresenteerd zouden zijn in het hoofd, lijkt in strijd met het onderzoek waarop het constructivisme zich baseert. Kennis en vaardigheden zijn in het hoofd van mensen gebonden aan de ervaringen die in specifieke contexten zijn opgedaan.”*

Welnu, de weergegeven conclusies uit de metastudie van Taconis et al. onderstrepen deze nadruk op het domeinspecifieke karakter van probleemoplosvaardigheden. Sterker, in feite onderstrepen deze conclusies het belang van wat ik zelf indertijd heb geformuleerd als ‘inzichtelijk kunnen handelen’, zij het dat dit nu geformuleerd wordt in de terminologie van een kennisbasis met hoge kwaliteit. Dat rechtvaardigt overigens de vraag in hoeverre er eenzelfde beperking aan de orde zou kunnen zijn voor andere

³²⁴ S. Hennessy, R. McCormick & P. Murphy (1993). The myth of general problem-solving capability: Design and technology as an example. *The Curriculum Journal*, 4, 59-72.

S. Hennessy (1993). Situated cognition and cognitive apprenticeship: Implications for classroom learning. *Studies in Science Education*, 22, 1-42.

³²⁵ M. Boekaerts & P.R.J. Simons (1993). *Leren en instructie*. Assen: Dekker & Van der Vegt.

als algemeen veronderstelde vaardigheden. In ieder geval is het zo dat, voor het bereiken van die kwalitatief hoogwaardige kennisbasis, er in het onderwijs wel degelijk veel aandacht nodig is voor reflectie op ervaringen en voor (zelf)sturing van cognitieve activiteit. Ofwel voor (algemene?) metacognitieve kennis en vaardigheden.

10.2 Metacognitie en natuurkunde leren

10.2.1 Waar gaat het om?

“There is little evidence that the quality of students’ learning of science has improved over the past decade or so. That this concern [regarding the quality of science learning] persists is itself a concern because it suggests that what we already know about how to improve science education and learning through the enhancement and development of students’ metacognition is not finding its way into either the everyday practice of classroom teachers or the mind-set and/or curricula of teacher educators and their teacher education programmes. In other words, whilst there are few who question the importance of metacognition, the recognition of this importance is not reflected in teachers’ or teacher educators’ practices.”³²⁶

Aldus Thomas in een recent overzichtsartikel. Het is dus niet de boodschap, maar de boodschapper die te wensen zou overlaten, alhoewel de anekdote uit figuur 122 daar wel een kanttekening bij plaatst³²⁷. Metacognitie, ‘kennis *over* kennis en denken *over* denken’ om het slordig uit te drukken, is expliciet op het toneel verschenen in de jaren zeventig van de vorige eeuw. Sindsdien heeft het steeds meer onderwijskundige aandacht gekregen, met als hoogtepunt (of dieptepunt volgens anderen) in ons land het zelfstandig ‘leren leren’ bij de invoering van de Tweede Fase. Op een bescheidener niveau zijn we het idee in het voorgaande al een aantal keren tegengekomen, ook al is een precieze omschrijving nog niet zo eenvoudig³²⁸. Zo kwam het aan de orde in het CASE-project, bij de bespreking van ‘conceptual change’, bij Freudenthal’s reflectie, bij probleemoplossen, etc. Al deze nadruk op ‘hogere orde kennis en vaardigheden’ wijzen, hoe belangrijk deze zaken ook mogen zijn, mijns inziens, op zowel een overwaardering van metacognitie, als een onderwaardering van ‘gewone’ kennis.

After eight months of experience in the *Project to Enhance Effective Learning*, two tenth-grade students came to their science teacher.

‘We see what all this is about now,’ one said.

‘You are trying to get us to think and learn for ourselves.’

‘Yes, yes,’ replied the teacher, heartened by this long-delayed breakthrough, ‘that’s it exactly.’

‘Well,’ said the student, ‘we don’t want to do that.’

Figuur 122. Een opvatting over leren!³²⁷

³²⁶ G.P. Thomas (2012). Metacognition in science education: Past, present and future considerations. In: B.J. Fraser, K.G. Tobin & C.J. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook of Science Education*. Dordrecht: Springer.

³²⁷ R.T. White (1988). *Learning Science*. Oxford: Basil Blackwell.

³²⁸ H. Vos (2001). *Metacognition in Higher Education*. Enschede: UT. De auteur gaat uitgebreid in op allerlei aspecten van metacognitie.

Het was begrijpelijk dat onderwijskundigen, die zich immers niet bezig houden met vakinhoudelijke zaken, zich volop stortten op het bestuderen en propageren van metacognitie. En door het aanwenden van hun invloed, werd die visie dan ook toonaangevend voor de eerste onderwijsvernieuwing die echt op onderzoek gebaseerd heette te zijn (het Studiehuis). Nog erger werd het toen deze onderschatting van het belang van ‘gewone’ kennis, onder andere blijkend uit uitspraken dat de halfwaardetijd van kennis maar zo’n tien jaar zou zijn, samen ging vallen met het argument van ICT-goeroes dat je kennis zo nodig altijd kunt opzoeken op het internet. En dat je je daarom in het onderwijs niet zozeer zou moeten focuseren op het onderwijzen van kennis, maar veel meer op het ontwikkelen van competenties.

Boekaerts en Simons³²⁵ onderscheiden de volgende aspecten aan de tot nu toe onge-specificeerde term metacognitie (figuur 123): “[Het begrip meta-cognitie] betreft de kennis en opvattingen die iemand heeft over zijn cognitief functioneren (denken, redeneren, leren, onthouden, e.d.) en over de wijze waarop dit functioneren gestuurd kan worden. We onderscheiden meta-cognitieve kennis, meta-cognitieve opvattingen en meta-cognitieve vaardigheden of meta-cognitieve sturing. Andere termen die wel gebruikt worden in plaats van de term meta-cognitieve vaardigheden zijn ‘executive control’ of zelf-regulatie.

Er worden hier twee typen meta-cognitieve kennis over het eigen cognitief functioneren onderscheiden: de meer algemene cognitieve opvattingen, mini-theorieën over ons cognitief functioneren en meer specifieke meta-cognitieve kennis, specifieke kennis over het cognitief functioneren.”

Metacognitieve opvattingen:	intelligentie, leerconcepties, onderwijsconcepties, begrijpen, kennis, eigen leren, leerdoelen
Metacognitieve kennis:	metageheugen, meta-aandacht, metacognitie, lezen, studeren
Metacognitieve vaardigheden:	oriënteren, plannen, bewaken, toetsen, herstellen, evalueren, reflecteren

Figuur 123. Overzicht van de typen metacognitie³²⁵.

Zoals gezegd, dit denken over metacognitie heeft een grote vlucht genomen, en ligt ten grondslag aan wat sindsdien procesgerichte instructie is gaan heten. Zaken als leerstijlen³²⁹, leerfuncties, leerlinggestuurd leren en zelfstandig leren³³⁰, zijn hier onverbreekelijk mee verbonden, maar daar ga ik nu verder niet op in. Bij al deze zaken kun je trouwens opnieuw de vraag stellen hoe algemeen van aard deze metacognitieve aspecten zijn. De meeste onderwijskundigen lijken daar blindelings van uit te gaan, maar een kanttekening is op zijn plaats. Het populaire begrip leerstijl is daarvan een voorbeeld. Is leerstijl echt een persoonlijkheidskenmerk dat voorafgaat aan onderwijs? Of is het eerder een gevolg van onderwijs? Ik heb me altijd tegen de eerste, gangbare,

³²⁹ J. Vermunt (1992). *Leerstijlen en sturen van leerprocessen in het hoger onderwijs*. Amsterdam: Swets.

³³⁰ S.O. Ebbens (1994). *Op weg naar zelfstandig leren, effecten van nascholing*. Groningen: Wolters Noordhoff.

opvatting verzet, omdat er, naar mijn idee, een wat al te enthousiaste generalisatie heeft plaatsgevonden van hoger naar lager onderwijs. Het is ongetwijfeld waar dat er een persoonlijkheidscomponent aanwezig is in de manier waarop iemand bij voorkeur leert, maar ik denk ook dat er een sterke onderwijsgebonden en inhoudelijke component deel van uitmaakt. Als je natuurkunde een vreselijk vak vindt, zal je leergedrag voor dat vak er anders uitzien dan bij je lievelingsvak. En net zo voor je leergedrag in de les bij een docent voor wiens onderwijs en persoon je als leerling veel waardering voelt, in vergelijking met je leergedrag bij de docent voor wie juist het tegendeel geldt.

Hoe dat ook precies zij, ik zal me nu verder beperken tot de inhoudsspecifieke aspecten van metacognitie in natuurkundeonderwijs. *“It has become increasingly evident that metacognition is a key to attending to the multiple agendas that characterize science education today. These agendas include the development of students’ scientific literacy and their understanding of the nature of scientific inquiry, the nature of science itself and scientific concepts. For example to be able to undertake a process of scientific inquiry, there is a need for students to be able to consciously undertake particular procedures, both physical and cognitive, to monitor their progress towards the goal/s of the inquiry as they proceed, be aware of and evaluate their progress, and reflect on the outcomes of their inquiry with a view to improving their practices. This type of conscious thinking is the hallmark of a metacognitive individual. (...) It is such a constant and conscious reflection that is at the heart of conceptual change theories in science education.”*³²⁷

In de natuurkunde hebben we te maken met kennis, kennisverwerving en kennistoepassing. Daarnaast kunnen we op de aard hiervan reflecteren en komen dan, op meta-niveau, tot kennis over de ‘nature of science’. Deze metakennis blijkt dan overigens voor een groot deel te bestaan uit opvattingen die regelmatig aan verandering onderhevig zijn. Tegenwoordig krijgt deze metakennis steeds meer expliciete aandacht in het onderwijs en als zodanig is dat, lijkt me, onderdeel van een inhoudelijke invulling van de aandacht voor metacognitie. Om dit conglomeraat van kennis en metakennis te leren, daarin vaardig te worden en de gewenste attitudes, c.q. competenties, te vormen, is een voortdurende afwisseling van cognitieve en metacognitieve onderwijsactiviteiten nodig. Die laatste volgen, althans in principe, uit de in figuur 123 beschreven specificaties, mits we daar maar steeds het woord natuurkundig aan toevoegen. Maar ook daarin moeten we uitgaan van de beginsituatie van leerlingen (en docenten). Vandaar dat naar al deze opvattingen, over natuurkunde, over de aard van natuurkunde, over het leren, c.q. onderwijzen, van (de aard van) natuurkunde nogal wat onderzoek gedaan is bij zowel leerlingen als docenten. Ik volsta hier met het weergeven van enkele, naar mijn idee, representatieve voorbeelden.

10.2.2 Enkele opvattingen van leerlingen

Natuurlijk zal een leerling, in het algemeen, opvattingen hebben over onderwijs en leren. Als hij, om wat voor reden ook, met tegenzin naar school gaat, drukt dat een zwaar stempel op zijn leergedrag. (*“Ik leer omdat het moet, maar gemotiveerd ben ik niet.”*³³¹) Maar voor de natuurkundedocent zijn waarschijnlijk opvattingen van leerlingen over

³³¹ De hier weergegeven citaten zijn hoofdzakelijk ontleend aan: T. Solomaniuck (2008). *Natuurkunde leren leren begeleiden*. Antwerpen: UA.

natuurkunde en natuurkunde leren relevanter. Als de leerling vindt dat natuurkunde niet interessant is, of gewoon te moeilijk, zal dat zijn leerhouding en uitvoering van leeractiviteiten negatief beïnvloeden. (“*De lessen bestonden uit theorie en demonstratieproeven die betrekking hadden op die theorie. Ik heb het van het begin af aan een vervelend vak gevonden en ik kon het niet goed.*”) Maar ook omgekeerd. (“*De laatste twee jaar deed ik heel graag natuurkunde. Ik vond het interessant... het is natuurlijk wel zo dat als je 't wat kunt, dat je 't dan ook liever doet en dan ook meer gaat studeren.*”) Een ander probleem doet zich voor als de leerling vindt dat natuurkunde leren vooral bestaat uit het onthouden van en manipuleren met formules. (“*... ik las de opgave en dacht 'hoe beginnen ze eraan'... 'o ja, da's die formule' en dan schreef ik die op... dan leerde ik al die formules...; Ik had genoeg inzicht in vraagstukken, formules kunnen toepassen vond ik gemakkelijk.; Ik bekijk al die formules, als ik bijvoorbeeld snelheid, tijd en versnelling al heb en ik heb de afstand nodig, dan zoek ik een formule waar ze alle vier in staan en die gebruik ik dan.*”) Daarnaast zijn er opvattingen over de docent, die heel bepalend kunnen zijn voor het leergedrag en plezier in het vak. (“*Ik had een leraar die angst opwekte, ik denk dat dat een eigenschap is van degenen die natuurkunde ondervijzen!; De leraar heeft nooit iets anders gedaan dan natuurkunde en begrijpt niet dat...; We hadden een hele goeie leraar, daarom begrepen we de stof goed.*”)

Gunstone³³² schrijft over “*the problem of students not knowing the purpose of what they are doing, even when they have been told. (...) The most significant factor contributing to the problem is that students very often have extremely transmissive views of learning and teaching, and very passive views of the role they should play in these processes. Further, their epistemological views are often very consistent with these views of teaching and learning. That is, the only issue of importance in their physics learning is often no more than the 'right answer'. Hence processes, supporting arguments, alternative perspectives, links to other concepts are dismissed, even though these may be very significant to the teacher. (...) De Jong [dit was een Australische docent] found a number of his students believing that successful learning of physics required two attributes: high intelligence and a good memory. These attributes were seen as things you either had or did not have; nothing could be done to acquire them. That is, some of De Jong's physics students had views of learning which led them to know, with certainty, that they could not understand physics.*”

Iedere docent zal dit herkennen. Bekend is ook dat leerlingen gewoonlijk zeer ‘toetsgericht’ leren. In onze onderwijsexperimenten, waarin leerlingen extra dingen moesten doen, zoals, bijvoorbeeld, aandacht besteden aan een stukje ideeëngeschiedenis door de opeenvolgende conceptuele ontwikkeling van een serie modellen te bestuderen, stuitte dit vaak op de vraag of ze dat ook moesten kennen voor de toets, c.q. het examen. (“*We studeerden examengericht...*”) En soms zelfs op nog verdergaande weerstand, met het verzoek aan de docent om het onderwijs toch maar liever te beperken tot het verplichte programma. De andere kant is dat dit gedrag vaak sterk gestimuleerd wordt door docenten, als die, overigens met de beste bedoelingen, voortdurend benadrukken dat bepaalde zaken belangrijk zijn voor ‘de toets’. Zo houden dat soort opvattingen elkaar vaak onbedoeld in stand³³³.

³³² R.F. Gunstone (1991). Constructivism and metacognition: Theoretical issues and classroom studies. In: R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Eds.), *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies* (pp. 129-140). Kiel: IPN.

³³³ Met dank aan Rupert Genseberger (2013) die mij hierop attent maakte.

Ook over de 'nature of science' hebben leerlingen uiteraard opvattingen. *"They seemed to believe that scientific knowledge is certain or true and does not change. (...) First, 78% of all participants indicated that scientific knowledge "will never change [because] (...) everything scientists say in books is correct." These participants believed that scientists would not admit a claim as part of scientific knowledge or encode it in science textbooks unless they were certain about it. As one participant put it, "No [scientific knowledge would not change], because if the scientists are not sure about it they don't put it in the books for students to learn it." (...) Second, 20% of participants also noted that scientific knowledge might change in the sense of adding new facts to extant knowledge. This addition, nonetheless did not entail abandoning or rejecting earlier scientific claims. As one participant put it, "They [scientists] can only add on knowledge but they can't take anything of it because they are 100% sure of it." (...)*

*A total of 85% of participants did not demonstrate adequate understandings of the distinction between observation and inference. For these participants, knowing is seeing. Students seemed to believe that to learn about something in nature, scientists simply need to see it. Forty-five percent of participants believed that scientists were certain about the atomic nature of matter because they were able to see atoms using microscopes. As one participant noted, "I cannot see it [an atom], but scientists can see it ... by the microscope for tiny things, other than the one in the laboratory"*³³⁴

Dit soort 'misvattingen', als je ze zo mag noemen, want hoe zouden leerlingen immers anders moeten weten, is veel en vaak gerapporteerd in de literatuur. Het gaat in feite om de 'nature-of-science'-pendant van de eerder beschreven conceptuele leefwereldkennis. En ook hiervoor geldt dat deze leefwereldopvattingen zich maar moeizaam laten bijstellen. Voor het bereiken van de moderne 'literacy'-doelstellingen vormt dit dan ook een serieus probleem.

Bijzonder interessant is het als een leerling reflecteert op zijn eigen leerproces, zoals bijvoorbeeld in het Australische PEEL-project (Project for Enhancing Effective Learning), waarin leerlingen gevraagd werd een dagboek bij te houden. Enkele fragmenten om dit te illustreren. Het gaat over een les over het 'boek-op-de-tafel-probleem'.

*"Whenever I don't understand a point or issue, I put up my hand up so I get a better understanding. After we went through the sheet we raised the point we had on Friday's lesson. There was Ward's view and Katie's view. I held my own view on the whole situation and that was also argued. We got into a deep discussion, many questions were asked and new points were raised. However, we tried to stick to the first situation and solve the answer. The answer has not yet been solved but I have a better understanding of everything and I think the whole class had too. The work was interesting today because I joined into the discussion."*³³⁵

Dit relaas was typisch voor wat 'active contributors' werden genoemd. In een aansluitend interview gaf de interviewer aan dat deze les nogal verwarrend was geweest, vanwege alle verschillende verklaringen en het ontbreken van heldere antwoorden. Maar Clay antwoordde: *"I like it... it's like that, because you think about it after you leave the class. When you get home... People want to find out the answer."* Hij werd hierin bijgevallen door

³³⁴ R. Khishfe & F. Abd-El-Khalick (2002). Influence of explicit and reflective versus implicit Inquiry-Oriented Instruction on sixth graders' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 551-578.

³³⁵ J.R. Baird & J.R. Northfield (1992). *Learning from the PEEL Experience*. Melbourne: Monash University. <http://www.peelweb.org>

Michelle: *“Sometimes you want to keep going, even though its lunchtime.”* Iets wat ze ook wel eens werkelijk deden, tijdens de lunch gewoon door discussiëren.

Maar er zijn natuurlijk ook anderen, zoals Mary, een ‘occasional contributor’, die schreef: *“During this topic I would have spoken out more, but it was still interesting to just listen to discussions. I always held an opinion either way in a discussion.”* Katie, een andere ‘occasional contributor’ had er echter meer moeite mee: *“Today in science we looked and studied one particular question. I didn’t really enjoy it because I thought it was boring and I was not interested. Boring because it was really hard to understand and I don’t find “GRAVITY”, which was involved in the topic, interesting. Confusing, it was really confusing and hard to understand.”* Ze had dan ook niet aan de discussie deelgenomen. Maar in de volgende les deed ze wel actief mee. Haar mening, die ze ook naar voren had gebracht, was dat de tafel niets doet, omdat die niet naar boven kan duwen. Haar oordeel over de les was nu totaal anders. *“Today in science we kept up the debate that we started on the Monday about force. It was discussion more than writing. I participated well this period as my view on the debate was used for a class vote. I found this lesson to be interesting and used this to my ability as I could easily work out the answers because I was interested. (...) I enjoyed the lesson because we were learning about things that were around us and they happened everyday.”* Leerlingen blijken dus best een goed inzicht te kunnen hebben in hun ‘good or bad learning behaviours’, waarvoor het PEEL-project zich ten doel had gesteld om, samen met docenten, manieren te ontwikkelen om het feitelijk leergedrag van leerlingen te optimaliseren. Dat vanuit de veronderstelling dat daardoor ook de leerresultaten zouden verbeteren. Alhoewel dat nu ook weer niet zo eenvoudig bleek te zijn! Een resultaat dat bevestigd wordt in een recent onderzoek van Van de Sande, in ons land uitgevoerd, naar de invloed van metacognitieve opvattingen van leerlingen op het leren van scheikunde. Omdat ik veronderstel dat de uitkomsten niet heel anders zouden zijn geweest voor het leren van natuurkunde, al zijn er natuurlijk wel degelijk relevante domeinspecifieke verschillen tussen beide schoolvakken (en wetenschapsgebieden), geef ik hier zijn belangrijkste resultaten kort weer.

In dit onderzoek is nagegaan in hoeverre bepaalde aan scheikunde gerelateerde metacognitieve opvattingen van (met name 3 VWO-)leerlingen invloed hebben op hun leerresultaten en leeractiviteiten met betrekking tot scheikunde³³⁶. Daartoe is een instrument ontwikkeld waarmee dergelijke opvattingen ook kunnen worden gemeten. Het ging daarbij in het bijzonder om epistemologische opvattingen, leerconcepties en doeloriëntaties van leerlingen aangaande scheikunde. Drie zaken die overigens onderling bleken samen te hangen. Daarbij spelen opvattingen een rol over bijvoorbeeld de mate waarin leerlingen scheikunde beschouwen als een coherent geheel en over de mate waarin zij het leren van scheikunde beschouwen als een proces waarin zij actief kennis construeren. Dit werd beschreven als de mate waarin leerlingen er blijk van gaven georiënteerd te zijn op het verwerven van scheikundige competenties, kortweg ‘competentiegerichtheid’. Zo kon worden nagegaan in hoeverre de mate van competentiegerichtheid van leerlingen met betrekking tot het vak scheikunde daadwerkelijk invloed heeft op de wijze waarop zij beschikken over wat gezien wordt als een centrale chemische competentie: het kunnen relateren van scheikundige verschijnselen (het

³³⁶ R.A.W. van de Sande (2007). *Competentiegerichtheid en scheikunde leren. Over metacognitieve opvattingen, leerresultaten en leeractiviteiten*. Eindhoven: TUE.

macroaspect) aan scheikundige modellen (het submicro-aspect), ofwel ‘micro-macro-denken’. Concreet is onderzocht of meer competentiegerichte leerlingen vaker relaties leggen waarbij zij uitgaan van het submicro-aspect van de scheikunde. Dit bleek inderdaad het geval te zijn. Ook is nagegaan of relaties gelegd kunnen worden tussen de mate van competentiegerichtheid van de leerlingen en een ander belangrijk leerresultaat, namelijk de noties die leerlingen hebben en ontwikkelen over wat scheikunde behelst, hun ‘vakbeelden’. Het bleek dat er verbanden zijn tussen de mate van competentiegerichtheid enerzijds en het gebruik van constructen als ‘wetenschap’, ‘eigenschappen van stoffen’ en ‘chemische reacties’ anderzijds. Met de kennis dat een meer competentiegerichte instelling van leerlingen aangaande scheikunde samenhangt met als wenselijk geziene leerresultaten, dringt zich de vraag op in hoeverre de mate van competentiegerichtheid van leerlingen in de praktijk te beïnvloeden is. De twee deelonderzoeken waarin dit is geprobeerd, hebben hier echter niet toe geleid. Er zijn wel verbanden gevonden tussen de leeractiviteiten die leerlingen ontplooiën en de mate van competentiegerichtheid. Het ligt daarom voor de hand om te concluderen dat de leeractiviteiten van leerlingen in het bijzonder een gevolg zijn van hun metacognitieve opvattingen en, in dit geval, niet van de leeromgeving.

Op zich zijn dit interessante resultaten die het belang van aandacht voor metacognitie onderstrepen, ook als het gaat om het bereiken van ‘normale’ cognitieve leerdoelen. Tegelijk geven ze de waarschuwing de effecten daarvan niet te overschatten.

10.2.3 Enkele opvattingen van docenten

Uiteraard heeft, net als de leerling, ook de natuurkundedocent zijn opvattingen over zijn vak, zijn wijze van les geven en de capaciteiten van zijn leerlingen, en die zullen niet altijd harmoniëren met die van zijn leerlingen. Ook hiervan enkele illustratieve voorbeelden. Zo antwoordde een aantal natuurkundedocenten uit het voortgezet onderwijs als volgt op de vraag hoe ze aankeken tegen de natuurkunde³³⁷:

- *A set of interdependencies and laws according to which nature seems to work;*
- *A science that researches natural phenomena, the structure of matter and problems related to energy; it intends to construct models of them;*
- *Physics is a fundamental natural science which is a ‘foundation stone’ for other natural sciences. Physics studies mainly inorganic natural phenomena; matter, energy and their interactions;*
- *An empirical science that needs mathematics for help.”*

Zij maakten ook de volgende vergelijking met andere vakken:

- *Mathematics is a human product – an abstract construction, physics studies the existing and ‘models it’;*
- *Physics is not as precise and exact as mathematics. You need more ‘tools’ in physics;*
- *Physics is not only pure calculation but you can do empirical work; you can ‘model’ and search for applications;*
- *Physics depends on mathematics. All physical phenomena cannot be explained rationally;*

³³⁷ K. Sormunen (1999). Nature of physics – Teachers’ views. In: M. Bandiera et al. (Eds.), *Research in Science Education in Europe* (pp. 235-243). Dordrecht: Kluwer.

- *Chemistry is more restricted than physics. In a way its experiments are more colourful and simpler than those of physics;*
- *Chemical analysis and synthesis methods can almost always be exploited commercially. Physics is instead more ‘curious’;*
- *Physics is exact and its correctness is not affected by human views as is the case in history;*
- *History states, physics explains. History doesn’t explain anything as physics does.”*

Overigens is het moeilijk een waardering te verbinden aan dit soort uitspraken. Ze lijken nooit helemaal correct, maar ook nooit helemaal incorrect. Het is maar hoe je er tegenaan kijkt, en daarover is eigenlijk niemand het echt eens. Daarbij moeten we bedenken dat de meeste natuurkundedocenten in het voortgezet onderwijs zelf ook weinig tot geen directe ervaring hebben met natuurkunde als wetenschap. Kortom, ook voor hen is het grotendeels boekenkennis! Interessanter dan een onmogelijke beoordeling in termen van goed of fout is het daarom om hun opinies te vergelijken met die van ‘echte’ fysici, zoals onderzocht door Gunstone & White³³⁸.

“The high school teachers placed high value on students designing and undertaking experiments, and on students linking the ideas of physics with personal experiences from outside the classroom. They valued pedagogies that would foster these student behaviours. At the heart of this valuing was belief in a particular view of learning – that the individual learners each construct their own understandings, and are therefore responsible for their learning. The pedagogies that these teachers claimed to see as more appropriate were derived from these views of learning. Also contributing to the valuing of laboratory and linking approaches were beliefs about the nature of physics and the purposes of education that were consistent with the approaches. These teachers expressed the purpose of their students studying physics more in terms of general education, of seeing the significance of physics for understanding the world around them, than in terms of preparation for further study of physics at university. The beliefs of these teachers about the nature of science can only be inferred, but the data from this research suggest that they saw physics as both empirical and a construction of scientists. No inference at all was needed to determine substantial aspects of the views of the nature of physics held by the majority of the university physics teachers. Their statements showed that they saw physics as a highly logical structure, based on a set of uniformly applicable generalisations. This structure represented, for them, an obvious and powerful way of understanding natural phenomena. The purpose of teaching physics was to lay out this structure and, in the process, prepare first year university students for research in physics. The structure of physics was so important for most of the university teachers, it was the overwhelmingly dominant criterion for deciding curriculum and pedagogy. For example, for these teachers laboratory work was of relatively low value. Any value it did have was in the extent to which students might learn skills of experimental design, not in the learning of physics concepts. Linking physics with the “real” world had no cognitive value (only some affective value). A small number of this group even argued that teachers should not begin with the real world in teaching physics as this would diminish student learning.

These two groups of physics teachers provide contrasting examples of the links between views of the nature of science, teaching and learning, and the purposes of education. For the high school teachers it

³³⁸ R.F. Gunstone & R.T. White (1998). Teachers’ attitudes about physics classroom practice. In: A. Tiberghien, E.L. Jossem & J. Barojas (Eds.), *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education*. <http://web.phys.ksu.edu/ICPE/Publications/index.html>

appears that a view of learning was central, and that views of purposes and the nature of science were then consistent. With the majority of the university teachers it was the view of the nature of science that was central, so much so that this overrode any consideration of learning and pedagogy.”

We moeten dus misschien wel concluderen dat de overvloedige aandacht in de literatuur voor de ‘nature of physics’ niet direct gedeeld werd door de (Australische) docenten in het voortgezet onderwijs en dat hun onderwijsvormgeving daar in slechts ondergeschikte mate door bepaald werd. Daarvoor waren hun opvattingen over leren en onderwijzen belangrijker. Toch laat dit de vraag open in hoeverre de natuurkundedo-centen zich hiervan ook bewust zijn. In hoeverre hanteren zij bewust hun metacognitieve kennis en vaardigheden, gericht op leren en onderwijzen, om onderwijsactiviteiten vorm te geven die metacognitief leren bij hun leerlingen stimuleren? Georghiades³³⁹ concludeerde dat we daarover niet te optimistisch moeten zijn. *“The notion of metacognition is largely unknown to the average science teacher. Those of them who happen to be familiar with the notion do not have the resources to facilitate implementation of metacognition in their teaching, or they do not have the authority to make such changes on curriculum and time allocation as to accommodate metacognition in their teaching. The current state of the literature on metacognition has already given signs of a theory-practice gap emerging, comprising extensive academic elaboration on the mechanisms of metacognitive thinking and rare attempts to bring this inside ordinary classrooms. If metacognition is to find its way into the science classroom this decision has to be made by policy-making bodies, which will consequently facilitate ordinary teachers in their attempts to do so.”*

Het lijkt duidelijk dat deze auteur niet op de hoogte was van de invoering van de Tweede Fase in ons land, ook al heeft die, denk ik, nu ook weer niet geleid tot veel metacognitief geïnspireerde onderwijsactiviteit op het inhoudelijke microniveau. In ieder geval is metacognitie niet bij alle docenten even bekend, al blijkt dit bij nader inzien niet zo’n ramp te zijn, zoals onderstaande fragmenten illustreren³⁴⁰.

“You know I really don’t understand how it could be that no one taught me about metacognition. I mean... actually... no one mentioned the concept metacognition in my entire teacher-training program toward becoming a science teacher... You know... and I was a very good student, I never missed any lesson... if metacognition had been mentioned during the courses or the personal guidance I got, I would have been the first to relate... to connect to that, because I really appreciate metacognitive instruction from my special education teaching experience... the science teacher’s guide never mentioned the word metacognition... she didn’t know what it is.

Now after I have learned what metacognition is, I can tell you that I do it all the time in my classroom but I have never known it is called ‘metacognition’. I mean, I always ask my students to reflect on their own thinking processes after they are done with a learning task, I do it spontaneously because I feel it is important for students’ learning but I have never learned about it... no one told me to do so... It came from my 20 years teaching experience... I picked it up by myself... It just felt right to do so... It is funny to see that there is a whole complex theory behind it, I thought I invented it... [laughing].”

³³⁹ P. Georghiades (2004). From the general to the situated: Three decades of metacognition. *International Journal of Science Education*, 26, 365-383.

³⁴⁰ A. Ben-David & N. Orion (2012). Teachers’ voices on integrating metacognition into science education. *International Journal of Science Education*, 34, 1-33.

Dat is natuurlijk prachtig, dat een ervaren docent uit zichzelf aandacht besteedt aan metacognitieve reflectie, al lijkt me dit niet echt een maatgevend voorbeeld. Of zou dat ook zo zijn voor onze natuurkundedocenten? Gelukkig kunnen we daar ook iets over zeggen. Belo³⁴¹ heeft zeer recent een onderzoek gerapporteerd over de opvattingen van Nederlandse natuurkundedocenten. Geheel in lijn met het voorgaande, zegt ze: *“Onderzoek naar docentopvattingen is relevant, omdat deze een belangrijke rol spelen in het ordenen van informatie. Bovendien beïnvloeden ze de beslissingen van docenten ten aanzien van onderwijs en instructie. Met name opvattingen over de doelen en didactiek van het natuurkundeonderwijs alsmede opvattingen over de aard van natuurwetenschap worden in dit kader van belang geacht.”*

Ik geef hier nu, zeer beknopt, de belangrijkste bevindingen weer uit dit onderzoek. Allereerst worden de resultaten van een kleinschalige interviewstudie naar de opvattingen van natuurkundedocenten en docentopleiders over de doelen en didactiek van het natuurkundeonderwijs gepresenteerd. *“In het bijzonder zijn opvattingen onderzocht over effectieve manieren om leerlingen van 12-18 jaar te motiveren de vakinhoud te leren en daarnaast om de leerstof begrijpelijk te maken. (...) Een van de conclusies is dat de opvattingen van de participerende docenten en docentopleiders voornamelijk twee doelen van het natuurkundeonderwijs reflecteren, namelijk ‘het leren en begrijpen van conceptuele natuurkundekennis’ en ‘het leren en toepassen van probleemoplossende vaardigheden en onderzoeksvaardigheden’. Er is bovendien geen duidelijk onderscheid gevonden wat betreft de inhoud van opvattingen over het ‘begrijpelijk maken van natuurkunde’ en ‘het motiveren van leerlingen’. De praktische implicaties van de onderzochte opvattingen kunnen worden samengevat in de volgende vijf richtlijnen voor instructie: 1) laat leerlingen practica doen en onderzoek uitvoeren, 2) laat leerlingen uitdagende en zorgvuldig geselecteerde problemen oplossen, 3) probeer om abstracte natuurkundige vakinhoud te verlevendigen voor leerlingen, 4) laat leerlingen samenwerken met klasgenoten en 5) houd rekening met de diversiteit en persoonlijke kenmerken van leerlingen. De geïnterviewde personen hebben bovendien het belang van herhaaldelijk oefenen benadrukt teneinde vaardig te worden in het oplossen van problemen en het toepassen van conceptuele natuurkundekennis. Een klein deel van de onderzochte opvattingen reflecteert het doel van ‘leren over de aard van natuurkundige kennisontwikkeling en natuurkundig wetenschappelijk onderzoek’. Zo hebben de geïnterviewden bijvoorbeeld aangegeven dat het belangrijk is dat leerlingen inzicht verwerven in de empirische en voorlopige aard van natuurwetenschappelijke kennis en dat zij zich bewust worden van de toepassingen van natuurkundige kennis in het leven van alledag.”*

Daarnaast beantwoordde een grote groep docenten een vragenlijst over grotendeels dezelfde problematiek. *“Een van de hoofdconclusies van deze studie is dat de natuurkundedocenten gemiddeld genomen weinig onderscheidende opvattingen hebben over de doelen en didactiek van het natuurkundeonderwijs. Wat betreft de doelen van het natuurkundeonderwijs is gebleken dat de docenten zowel ‘transmissie-/kwalificatie-georiënteerde’ en ‘leren-/moreel-georiënteerde’ opvattingen hebben over de algemene doelen van het onderwijs. Met andere woorden, ze vinden dat het in het onderwijs niet alleen moet gaan om de overdracht van vakinhoudelijke kennis en kernbegrippen en de kwalificatie van leerlingen voor het vervolgonderwijs, maar ook dat leerlingen moeten leren om hun eigen kennis te construeren, verantwoordelijk te zijn voor hun eigen leerprocessen, samen te werken met hun leeftijdgenoten en een kritische attitude te ontwikkelen.”*

³⁴¹ N.A.H. Belo (2013). *Engaging Students in the Study of Physics: An Investigation of Physics Teachers’ Belief Systems about Teaching and Learning Physics*. Leiden: ICLON.

Ten slotte is er in een grootschalig vragenlijstonderzoek gekeken naar de inhoud en structuur van de opvattingen van natuurkundedocenten over de aard van natuurwetenschap. *“Gemiddeld genomen hebben de natuurkundedocenten uit deze steekproef vergelijkbare opvattingen over het ‘doel’ van natuurwetenschappelijke kennis. Zo zijn zij van mening dat natuurwetenschappelijke theorieën, principes en natuurwetten bedoeld zijn om een correcte beschrijving, uitleg en voorspelling te geven van natuurkundige fenomenen. Een andere conclusie is dat de docenten verschillen in hun opvattingen over de ‘status’ en ‘praktische bruikbaarheid’ van natuurwetenschappelijke kennis. Er zijn echter geen significante verschillen gevonden als gekeken wordt naar achtergrondvariabelen zoals geslacht, leeftijd, aantal jaren onderrichtserving en de vooropleiding van docenten. Verder zijn er, wat betreft de structuur van deze opvattingen, zwakke (significante) positieve correlaties gevonden tussen enerzijds docentopvattingen over het ‘doel’ en anderzijds opvattingen over de ‘status’ en ‘praktische bruikbaarheid’ van natuurwetenschappelijke kennis.”*

Ik vind de grote mate van overeenkomst van de opvattingen van deze docenten, met wat bekend is uit de literatuur, opvallend. Het denken over didactiek wordt, naar het lijkt, veel sterker bepaald door de onderwijsdoelen dan door opvattingen over leren en onderwijzen. Ik vermoed dan ook dat de mate waarin aandacht wordt besteed aan metacognities en aan metacognitieve leeractiviteiten gemiddeld genomen niet groot is. Hetgeen uiteraard de vraag oproept hoe en of dat dan anders zou kunnen! En natuurlijk ook of dat de moeite waard zou zijn!

10.2.4 En hoe in de klas?

10.2.4.1 Stimuleren van actieve en diepe verwerking

“The need to develop a deep understanding of the subject may not have been viewed by them [the students] as being particularly important as progression through the schooling system could be achieved without it. (...) This is not to suggest that these students were poor learners, but rather that they had learnt how to learn sufficiently well to succeed in school without expending excessive time or effort. Their teacher lamented, ‘No matter how well I think to teach a topic, the students only seem to learn what they need to pass the test, then, after the test they forget it all anyway’”³⁴²

“Mr. Ellis’ students, like those of Mr. London and Mr. Jacobs, are not working on chemistry; they are working to get through chemistry. The subject does not matter. As a result, students negotiate treaties regarding the kind of work they will do in class. Their work is not so much productive as it is political. They do not need to be productive – as in learning chemistry. They only need to be political – as in being credited for working in chemistry.”

“The three teachers (Ellis, London and Jacobs) exemplify the superficial teaching that can pass as legitimate instruction. This superficiality seems to be the status quo for many science classrooms worldwide.”

Deze citaten wijzen opnieuw op het kernprobleem dat steeds terugkomt, namelijk dat er in veel situaties sprake is van een inadequaat didactisch contract tussen leerlingen en docent, dat in feite gericht is op wederzijdse overleving. Leerlingen vertonen oppervlakkig leergedrag, gericht op overleving van het systeem, dat wil zeggen met minimale inspanning slagen voor de toets en de school. Docenten overleven op hun beurt door

³⁴² G. Aikenhead (2000). Renegotiating the culture of school science. In: R. Millar, J. Leach & J. Osborne (Eds.), *Improving Science Education: The Contribution of Research* (pp. 245-264). Buckingham: OUP.

te onderwijzen voor de toets en het diploma, en nemen genoegen met een oppervlakkig leerresultaat. Overigens zonder zich daar altijd zo bewust van te zijn. In feite wijzen alle beschreven begripsproblemen en gebrek aan probleemoplossingsvaardigheden in die richting. Eenzijdige verandering van dat contract door een individuele docent lukt nauwelijks. Het gaat in feite om een schoolcultuur (of zelfs om een maatschappelijke cultuur)³⁴³. Een deel van de remedie, het metacognitief stimuleren van goed, en ontmoedigen van ongewenst leergedrag moet, idealiter, dan ook gedragen worden door alle docenten. Dat was precies waaraan het eerder genoemde PEEL-project^{335,344} heeft gewerkt, onder andere door het ontwikkelen van vele inventieve leeractiviteiten. Natuurlijk zijn er overal soortgelijke initiatieven geweest, zonder dat die overigens, althans in het voortgezet science-onderwijs, geleid zouden hebben tot aanwijsbare verbeteringen, als we tenminste Thomas³²⁶ mogen geloven. Frappant dat juist hij, recentelijk, een vrij eenvoudige gedragsverandering van een docent rapporteert, die wel degelijk een positief effect had op het leergedrag van de leerlingen. Het kan dus well³⁴⁵ *“This paper reports on a teacher’s effort to stimulate students’ metacognitive reflection regarding their views of physics learning and their physics learning processes via a pedagogical change that incorporated the use of a representational framework and metaphors. As a consequence of the teacher’s pedagogical change, students metacognitively reflected on their views of physics and their learning processes and some reported changes in their views of what it meant to understand physics and how they might learn and understand physics concepts.”*

Van deze PEEL-activiteiten heb ik, om u een beeld te geven, in figuur 124 een kleine selectie weergegeven. Activiteiten die door individuele natuurkundedocenten als hulpmiddel kunnen worden gebruikt in hun lessen en die gericht zijn op het stimuleren van actieve en diepe reflectieve verwerking van de leerstof door leerlingen. De teneur van deze opdrachten is duidelijk: leerlingen stimuleren tot reflectie op en verdieping van het eigen (inhoudelijk) denken en handelen. De moraal van deze activiteiten is dat het ook voor de individuele docent in de praktijk van alledag mogelijk is, door creatief te ‘spelen’ met onderwijsopdrachten, de kwaliteit van het leerproces te verhogen. Daardoor komen in de klas immers zaken ter sprake, die gewoonlijk onbesproken blijven. Maar of de leerling dat ook altijd wil (zie figuur 122), is natuurlijk een heel andere vraag. Iets wat trouwens net zo goed geldt voor docenten!

10.2.4.2 Een metacognitief onderwijsdoel

De inzet van dit soort losse activiteiten draagt, als het goed is, bij aan beter inhoudelijk begrip, maar tegelijk zouden ze, als geheel, moeten bijdragen aan een langere termijn ontwikkeling van metacognitieve vaardigheden³⁴⁶. Iets wat alleen kan als er regelmatig

³⁴³ Het proefschrift van Genseberger (zie noot 120) beschrijft hoe belangrijk een verandering van de hele schoolcultuur is voor het doen slagen van een fundamentele innovatie.

³⁴⁴ R.T. White & I.J. Mitchell (1994). Metacognition and the quality of learning. *Studies in Science Education*, 23, 21-37.

³⁴⁵ G.P. Thomas (2013). Changing the metacognitive orientation of a classroom environment to stimulate metacognitive reflection regarding the nature of physics learning. *International Journal of Science Education*.

³⁴⁶ De in de NINA-syllabus geformuleerde eindterm voor subdomein A1.3 Reflecteren op leren: ‘De kandidaat kan bij het verwerven van vakkennis en vakvaardigheden reflecteren op eigen belangstelling, motivatie en leerproces’, geeft aan dat metacognitie nu zelfs in het examenprogramma is opgenomen.

- A *Procedures voor het ontwikkelen van inzicht in vakinhouden en vaardigheden*
- 1 Concept mapping.
 - 2 Verbindingen laten leggen tussen verschillende delen van de vakinhoud en tussen verschillende manieren van werken.
 - 3 Een matrix construeren op grond van gegeven kopjes voor rijen en kolommen.
 - 4 Venn-diagrammen construeren.
 - 5 Ongebruikelijk creatief schrijven, bijvoorbeeld, een dag uit het leven van een elektron!
 - 6 Het goede antwoord ter discussie stellen.
- B *Procedures voor het opsporen, verbeldden en herstructureren van ideeën van leerlingen en voor het uitbreiden van het geleerde naar nieuwe situaties*
- 1 Interpreterende discussie.
 - 2 Een gestructureerde samenvatting maken van ongeordende aantekeningen.
 - 3 Voorspel, neem waar, verklaar.
 - 4 Terugkijken op eerdere gezichtspunten.
- C *Procedures om de communicatie, betrokkenheid, samenwerking en uitwisseling van meningen te verbeteren.*
- 1 Werkbladen (e-mails) om vragen/problemen te communiceren.
 - 2 Vragen van leerlingen inventariseren en ophangen tot ze beantwoord zijn.
 - 3 Leerlingen bespreken elkaars 'good learning behaviour' met behulp van een checklist.
 - 4 Commentaar schrijven op commentaar van de docent op hun werk.
- D *Procedures om het verwerken van geschreven teksten en aantekeningen te verbeteren*
- 1 Leerlingen becommentariëren een tekst, als in dialoog met de auteur.
 - 2 Vragen beantwoorden, op grond van eerder gemaakte eigen samenvattingen.
 - 3 Leerlingen ontwerpen vragen over een onderwerp die door anderen moeten worden beantwoord.
- E *Procedures om het oplossen van numerieke problemen te verbeteren*
- 1 Leerlingen krijgen een aantal uitgewerkte opgaven voorgelegd, waarbij in de meeste een fout is gemaakt. Waar?
 - 2 Maak deze opgaven niet, maar sorteer ze, op grond van zelf te kiezen kenmerken.
 - 3 Leerlingen krijgen een voorbeeld van een bekend probleem, maar de numerieke waarden van een deel (of meer) van de gegevens is weggelaten, terwijl het antwoord wel is gegeven.
 - 4 Vind meerdere manieren om een probleem op te lossen.
 - 5 Ontwerp als leerling zelf de toetsopgaven.
- F *Procedures om leerlingen te trainen hun eigen leergedrag in de gaten te houden en te sturen.*
- 1 Vragen over onderwerp en taak: Wat voor verbanden zie je tussen de les van vandaag en die van gisteren? Hoe heb je gewerkt vandaag, wat ging goed, wat niet? Etc.
 - 2 Bij een grotere opdracht, door middel van een checklist, wekelijks bijhouden hoe het gaat, om ze te laten ervaren dat goed plannen nodig is.
 - 3 Door middel van een checklist leren patronen ontdekken in dingen die zij consistent slecht doen.
 - 4 Idem voor productief leergedrag.

Figuur 124. Enkele van de tientallen PEEL-activiteiten.

en coherent aan die vaardigheden gewerkt wordt, in goede afstemming met behandeling van daarvoor relevante vakinhoud. In het bijzonder kunnen zich daarbij motivatieproblemen voordoen, omdat hogere-orde denkvaardigheden gewoonlijk ook een hogere-orde denkinspanning vragen. Een inspanning waarvoor je, als leerling, dan wel gemotiveerd moet zijn. Je moet er op zijn minst het nut van kunnen inzien. Vandaar dat ik nu een voorbeeld wil geven van hoe, gekoppeld aan elkaar, gewerkt kan worden aan het leren van vakinhoud, het ontwikkelen van leermotieven en de ontwikkeling van een metacognitieve vaardigheid. Kortland³⁴⁷ heeft dit probleem aangepakt voor het aanvankelijk onderwijzen van wat ‘algemene’ besluitvormingsvaardigheden worden genoemd, in relatie tot het onderwijzen over het milieuvraagstuk rond (verpakings)afval. Zijn aanpak leidde tot de didactische structuur van figuur 125. We zien daarin de ontwikkeling van twee gekoppelde leerprocessen weergegeven, die elkaar motiveren en aandrijven. Het ene leerproces is gericht op nieuwe natuurwetenschappelijke kennis over afval, het andere op de inzichtelijke ontwikkeling van een metacognitief ‘instrument’ waarmee men kan nadenken over de vraag of men wel een verstandig besluit heeft genomen.

In de gegeven onderwijscontext (3 MAVO) beginnen beide onderwijsleerprocessen op het leefwereldniveau, en maken, door te starten bij de ‘common ground’, productief gebruik van wat leerlingen al kennen en kunnen. Voor wat de besluitvormingsvaardigheid betreft, betekent dit dat de leerlingen niet zozeer moeten leren om beslissingen te nemen, want feitelijk kunnen ze dat al, maar lijkt het de moeite waard om hen te leren om, in situaties die daar om lijken te vragen, expliciet te reflecteren op de kwaliteit van hun besluitvormingsproces. Om die kwaliteit te verhogen moeten ze niet alleen leren gebruik te maken van nieuwe natuurwetenschappelijke kennis over afvalverwerking, maar ook eisen te leren stellen aan hun afwegingen. Om die reflectie te sturen kan een metacognitief instrument, bestaande uit heuristische aanwijzingen, een nuttige rol vervullen. In feite dient dit instrument te bestaan uit in de klas gemeenschappelijk afgesproken normen over waaraan een ‘goed’ besluitvormingsproces moet voldoen. In de gepresenteerde structuur is dit instrument nog ontwikkeld binnen de context van het afvalvraagstuk. Echter, in een serie van elkaar opvolgende besluitvormingsmodulen, dus als een doordachte curriculumlijn, zou dit instrument geleidelijk kunnen worden gedecontextualiseerd tot een instrument voor besluitvorming als zodanig.

In de onderhavige lessenserie moesten leerlingen een beargumenteerde mening ontwikkelen en presenteren over een afvalkeuzesituatie. Gebruikmakend van die presentaties werd de volgende presentatiestandaard voor een beargumenteerde mening over een afvalkeuzesituatie ontwikkeld:

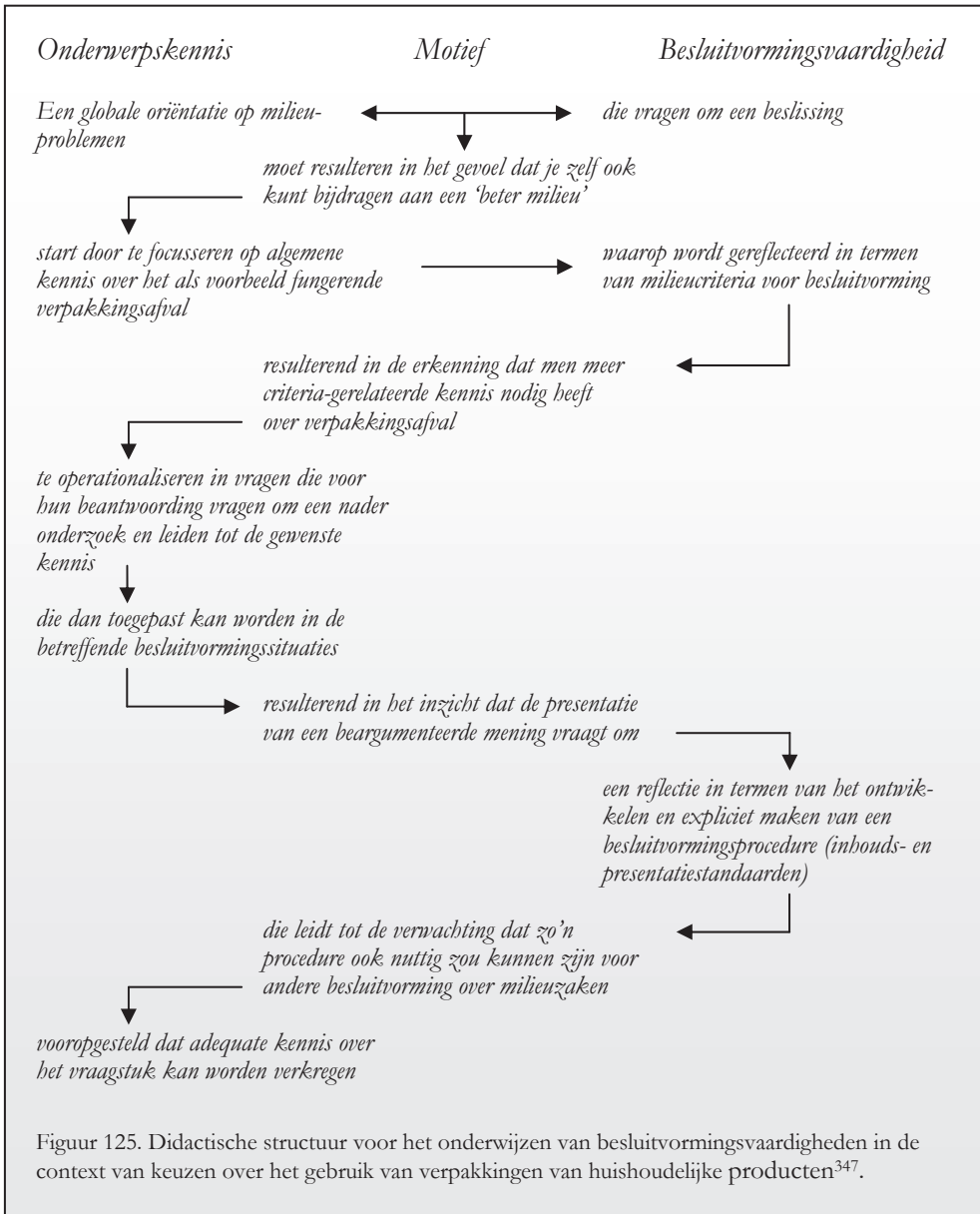
- Inhoud: volledigheid wat betreft verpakkingsalternatieven en milieucriteria, en het gebruik van volledige en juiste eigenschappen van die alternatieven in de vergelijkingen per criterium.

³⁴⁷ J. Kortland (2001). *A Problem-Posing Approach to Teaching Decision Making about the Waste Issue*. Utrecht: CD-β Press.

J. Kortland, C.W.J.M. Klaassen & P.L. Lijnse (2001). Ontwerpen van een didactische structuur voor het probleemstellend onderwijzen van besluitvorming over het afvalvraagstuk. *TD-β*, 19, 1-19.

J. Kortland (2008). *Probleemstellend onderwijs over milieu*. <http://www.ecent.nl/artikel/1591/Probleemstellend+onderwijs+over+milieu/view.do>

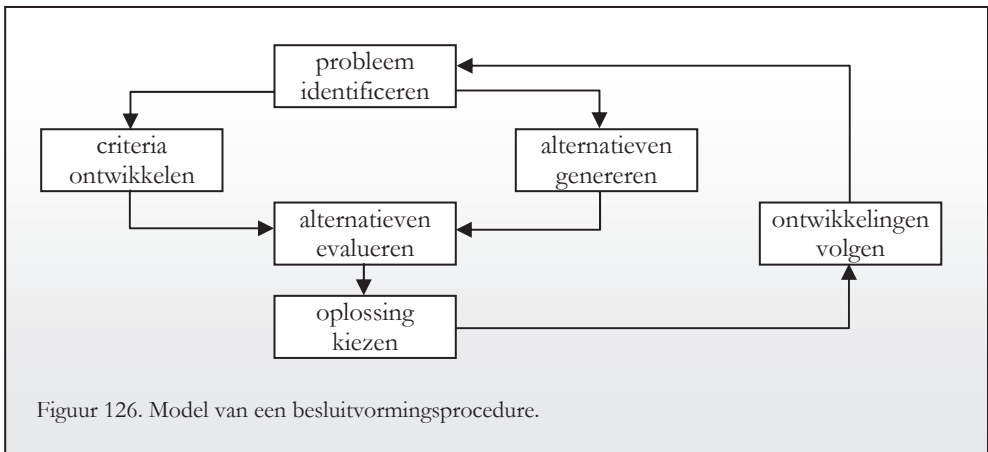
- Presentatie: een duidelijke weergave van de verpakkingsalternatieven en milieucriteria, een systematische weergave van de vergelijking van die alternatieven op die criteria, en een expliciete weergave van de keuzes per criterium, de (zo nodig) gemaakte afweging en de uiteindelijke keuze.



In deze presentatiestandaard is zowel gebruik gemaakt van een modelstructuur van het afvalvraagstuk als van een modelstructuur van een besluitvormingsproces (figuur 126).

Beide zijn impliciet richtinggevend geweest voor de vormgeving van de lessenserie. Zoals uit de didactische structuur naar voren komt, eindigt deze lessenserie feitelijk met een gecontextualiseerd metacognitief instrument, alhoewel daaraan wel nog de verwachting wordt gekoppeld dat een dergelijke procedure ook nuttig zou kunnen zijn bij andere soortgelijke keuzeprocessen. Met andere woorden, aandacht voor een metacognitieve vaardigheid als ‘besluitvorming’ zou moeten worden vormgegeven in een daarop gerichte leerlijn. Naast huishoudelijk afval zouden in andere modules keuzesituaties ten aanzien van water- en energieverbruik aan de orde kunnen worden gesteld. Of in een onderwerp als verkeersveiligheid, waarbij heel andere criteria een rol spelen in de besluitvorming. Uiteindelijk kan dan ook de nadruk komen te liggen op besluitvorming als onderwerp op zich. Door reflectie op de ontwikkelde contextafhankelijke standaarden kan een algemene formulering worden geëxpliciteerd, ruwweg van de volgende vorm^{347c}:

- Inhoud: volledigheid en relevantie wat betreft alternatieven en criteria, en het gebruik van volledige en juiste kwalificaties van die alternatieven in de vergelijkingen per criterium.
- Presentatie: een duidelijke weergave van de alternatieven en criteria, een systematische weergave van de vergelijking van die alternatieven op die criteria, en een expliciete weergave van de keuzes per criterium, de (zo nodig) gemaakte afweging en de uiteindelijke keuze.



Deze invulling heeft een duidelijk contextonafhankelijk en metacognitief karakter. Het is daarmee een algemeen bruikbaar gereedschap voor besluitvorming in voor leerlingen nog complexe situaties. Een gereedschap dat kan helpen bij het reguleren en controleren van de cognitieve stappen die bij besluitvorming moeten worden gezet³⁴⁸.

³⁴⁸ In feite gaat het hier uiteindelijk om de eindterm: ‘De kandidaat kan een beargumenteerd oordeel over een situatie in de natuur of een technische toepassing geven en daarin onderscheid maken tussen wetenschappelijke argumenten en persoonlijke uitgangspunten.’ (subdomein A2.5. Waarderen en Oordelen) Zie: Syllabus Nieuwe Natuurkunde, werkversie 2 (2010).

Zoals beschreven door Kortland zou een soortgelijke aanpak ook geschikt kunnen zijn voor de introductie van andere algemene vaardigheden, zoals leren probleemoplossen, leren modelleren, leren onderzoeken, etc. Het belangrijke punt hierbij is dat daarvoor bruikbare heuristieken (als metacognitief instrument) nu in reflectie op de eigen ervaringen van leerlingen, in het bijzonder op een door hun als problematisch ervaren situatie, kunnen worden geëxpliciteerd en uitgebreid³⁴⁹. Aan de vormgeving van zo'n leerlijn zouden ook andere vakken dan natuur- en scheikunde een bijdrage kunnen leveren. Voor al deze bijdragen aan de leerlijn lijkt de onderwerpspecifieke didactische structuur van figuur 125 een bruikbaar uitgangspunt voor het ontwikkelen van passende vervolgllessenseries. Het hoofdkenmerk van deze didactische structuur is het productief gebruik van de bestaande (afval)kennis en (besluitvormings)vaardigheid van de leerlingen voor het ontwikkelen van inhoudelijke motieven die ervoor zorgen dat het leerproces heen-en-weer slingert tussen kennisuitbreiding en vaardigheidsontwikkeling – en dat zou in vervolgllessenseries niet anders moeten zijn.

10.3 Constructivisme en cultuurhistorische invloeden

10.3.1 Inleidende context

Rond de eeuwwisseling was ik op een conferentie in Parijs, onder andere met de 'Leeds-boys' John en Phil³⁵⁰. Op mijn vraag waarover zij gingen spreken, was hun antwoord: 'What Vygotsky has to say for science education?' Mijn onmiddellijke impulsieve reactie was: 'Absolutely nothing!' Een ongetwijfeld nogal provocerende opmerking en misschien dat juist daarom de Leeds-boys deze opmerking verschillende malen hebben geciteerd, ter introductie van volgende lezingen op volgende conferenties. Om in diezelfde lezingen vervolgens natuurlijk hun gelijk en mijn ongelijk aan te tonen. Eigenlijk hadden we alledrie gelijk, afhankelijk van hoe je ernaar kijkt. Vygotsky is één van de grondleggers van wat nu de cultuurhistorische theorie heet. Zijn uit de voormalige Sovjet Unie stammende visie op cognitieve ontwikkeling, en op leren en onderwijzen, heeft de laatste decennia, sinds het beschikbaar komen van Engelse vertalingen van zijn werk, ook in het Westen sterk aan invloed gewonnen. En, als algemene theorie, is zijn benadering, zoals John en Phil benadrukten, dus ook van toepassing op het science-onderwijs. Maar in science-specifieke zin, en dat was mijn optiek, voegt zijn theorie daaraan niets speciaals toe. Overigens zijn we deze cultuurhistorische theorie al een paar keer tegengekomen. Bijvoorbeeld bij de vraag of handelingspraktijken een oplossing bieden voor de curriculumproblematiek, bij de versnelling van de cognitieve ontwikkeling in het CASE-project, bij het sociaal constructivisme en bij het bespreken van een strategische handelingsaanpak à la SPA.

In hoofdstuk 7 heb ik aandacht besteed aan de ontwikkelingstheorie van Piaget, ook al was wel duidelijk dat die theorie, ondanks zijn invloedrijke historie, al geruime tijd

³⁴⁹ Zoals de eerder besproken SPA-heuristiek in zijn meer gedetailleerde vorm.

³⁵⁰ Ik doel hier op John Leach en Phil Scott, twee toen nog jeugdige voormalige leerlingen van Rosalind Driver, die, vanwege haar vroege dood, in Leeds haar werk hebben voortgezet.

sterk onder vuur lag. Zo schreef Van Parreren³⁵¹ in 1988: “*Hoewel Piaget nog tot voor kort actief was (hij overleed in 1980), vindt zijn theorie bij de huidige ontwikkelingspsychologen weinig aanhang meer. Dat wil niet zeggen dat iedereen nu van de juistheid van Vygotskij’s cultuurhistorische theorie overtuigd is, al vindt die theorie wel méér en méér aanhangers. Maar algemeen ziet men wel in, dat Piagets theorie grote tekortkomingen vertoont. Piaget zag de cognitieve ontwikkeling vooral als een kwestie van ontdekkingen, die het kind spontaan, op grond van zijn eigen handelingen maakt.*” Door Piaget kwamen we uit bij zijn constructivisme. Dat een kind, door te handelen op de objecten in zijn omgeving, komt tot de constructie van zich fasegewijs ontwikkelende logische denkoperaties. Vanuit een toenemende onvrede hiermee, verschoof de aandacht echter (juist ook in het science-onderwijs) naar de constructie van inhoudelijke denkbeelden die het kind zich vormt in interactie met zijn wereld. Ook die werden aanvankelijk geacht vooral individueel van karakter te zijn. Vandaar dat werd geschreven over de vele idiosyncratische denkbeelden van leerlingen, maar dat bleek, bij nader inzien, toch mee te vallen. Waren ze misschien toch meer cultureel dan individueel bepaald? Al snel kwam, door het van oorsprong Amerikaanse socio-constructivisme, de aandacht te liggen op het leren in en van de klas. De klas als een ‘gemeenschap van lerenden’, die, onder begeleiding van de docent, in onderlinge interactie gezamenlijk kennis construeert. Een belangrijk aspect van dit ‘collaboratief leren’ is wat men co-constructie van kennis noemt³⁵². Kennis die dan ook aan gezamenlijk afgesproken normen moet voldoen (‘socio-norms’): epistemologische normen over kennisconstructie (consistentie, vruchtbaarheid, etc.), methodologische normen over kennisverwerving en communicatieve normen over kennisdeling. Voor de strenge constructivisten onder ons, die er immers van uitgingen dat kennis alleen instrumenteel (‘viable’) moet zijn voor het bereiken van bepaalde doelen, en geen afspiegeling is van een ontologische werkelijkheid, leverde dit wel een probleem op. Dat kwam het scherpst naar voren toen aan dit uitgangspunt de conclusie werd verbonden dat de ‘alternatieve concepties’ van leerlingen gelijkwaardig zouden zijn aan de concepties van leraren en andere experts. Er is immers geen absoluut criterium voor juiste kennis. Maar daarmee werd het opstellen van leerdoelen wel heel problematisch. En hoe kun je richting geven aan een onderwijsleerproces als je geen duidelijke leerdoelen hebt? In het socio-constructivisme werd dit, aldus Gravemeijer³⁵³, pragmatisch opgelost door de notie van algemeen aanvaarde kennis over de werkelijkheid als uitgangspunt te accepteren. De ‘taken-as-shared’ natuurkundige kennis kon zo toch weer tot doel worden van natuurkundeonderwijs. De uitwassen van deze opvatting hebben we trouwens eerder besproken. Los van deze uitwassen was de rol van de docent in dit geheel echter niet altijd even duidelijk. Aan de ene kant moest hij de ‘constructies van de klas’ waarderen en coachen, maar aan de andere kant tegelijk zorgen dat de ‘taken-as-shared’ kennis aan de orde kwam. Bij de bespreking van het CLIS-project hebben

³⁵¹ Van Parreren was in ons land een invloedrijk leerpsycholoog die, samen met J.A.M. Carpay veel gedaan heeft om de Russische leerpsychologie vroegtijdig meer bekendheid te geven, omdat hij die superieur achtte aan het meeste van wat de toenmalige Amerikaanse leerpsychologie te bieden had. Zie bijvoorbeeld: C.F. van Parreren (1988). *Ontwikkeland onderwijs*. Amersfoort: Acco.

³⁵² C.A.M. van Boxel (2000). *Collaborative Concept Learning*. Proefschrift ICO/UU.

³⁵³ K.P.E. Gravemeijer (1995). Het ontwikkelen van “constructivistisch” rekenwiskundeonderwijs. *Pedagogisch Tijdschrift*, 20, 277-292.

we gezien dat dit onvermijdelijk aanleiding geeft tot didactische fricties in het onderwijsleerproces.

De socio-constructivistische theorie legt sterke nadruk op de analyse van communicatie en interactie in de klas. Het eerdere begrip ‘negotiation of meaning’ speelt hierin een sleutelrol. Gravemeijer omschreef dit als volgt: *“In het algemeen blijken gesprekspartners zich continu in te spannen de uitingen van de ander op een zinnvolle wijze te interpreteren. Dit leidt tot voortdurende wederzijdse afstemming. Enerzijds worden de eigen ideeën over wat de ander bedoelt aangepast, anderzijds zullen sprekers zodra deze aan de (mogelijk nonverbale) reacties van de luisteraars merken dat ze niet worden begrepen, hun uitleg aanpassen. Men spreekt van ‘negotiation of meaning’ omdat de betekenissen die de gesprekspartners hanteren in een interactief proces worden bijgesteld. Er wordt niet bedoeld dat er expliciet over de juiste betekenissen wordt onderhandeld.”*³⁵⁴ Hierdoor kwam natuurlijk ook steeds meer de vraag op naar hoe die betekenisgeving dan eigenlijk precies plaatsvindt. Mogelijke antwoorden daarop werden gezocht in de semiotiek, de leer van tekens (gebaren, woorden, symbolen, teksten) en hun betekenis. Gravemeijer wees er ook, net als eerder Millar, op dat ‘het’ constructivisme eigenlijk alleen iets zegt over kennisverwerving, maar niets over onderwijs. Het ontbrak, zo stelde hij, aan een onderwijstheorie, om vervolgens te beargmenteren dat de realistische reken-wiskunde theorie eigenlijk precies in die lacune kan voorzien. Zou dit ook het geval zijn voor een natuurkundige pendant daarvan, vooropgesteld dat die in eenzelfde mate van detail zou zijn geformuleerd? Hoe dit ook zij, al deze problemen en ontwikkelingen maakten wel de tijd rijp voor een grootschaliger aandacht voor de cultuurhistorische theorie in het Angelsaksische deel van de wereld, omdat daarin, vanuit een ander perspectief, met gelijksoortige problemen was geworsteld en wellicht ook was gekomen tot zinvolle oplossingen. Hieruit ontwikkelde zich wat ‘sociaal constructivisme’ (ter onderscheiding van socio-constructivisme) of ‘social cultural theory’ wordt genoemd.

10.3.2 Toch Vygotsky?

Voordat ik daar echter op inga, eerst even een fragmentarische spoedcursus Vygotsky³⁵¹. In zijn opvatting gaat de cognitieve ontwikkeling van een kind van een aanvankelijk direct reageren op situaties, over naar een handelen met behulp van *hulpmiddelen*. Die middelen zijn aanvankelijk nog van materiële aard, maar bepaalde hulpmiddelen worden stap voor stap vervangen door *woorden* en door *voorstellingen*, *begrippen* of *regels* waaraan het kind denkt. Ofwel, het kind krijgt geleidelijk de beschikking over cognitieve gereedschappen (*cognitive tools*). Men zegt dan dat het handelen van het kind door deze cognitieve instrumenten *gemedieerd* wordt. Het *ontstaan van de gemedieerde activiteit* is het grondkenmerk dat de cognitieve ontwikkeling doortrekt, aldus Van Parreren. Maar, wat is nu de drijvende kracht in deze cognitieve ontwikkeling? *“Het kind vormt zijn cognitieve instrumentarium naar het voorbeeld van de volwassenen en de oudere kinderen om hem*

³⁵⁴ Dit roept de gedachte op dat, terwijl in Piaget’s constructivisme het sociale vergeten was (ik en de wereld), in dit socio-constructivisme de gemeenschappelijke wereld naar de achtergrond is verdwenen (ik en de ander). Terwijl Davidson, zoals we zagen, juist nadrukkelijk wees op de noodzakelijke driehoeksverhouding (ik, de ander én de wereld).

been, de sociale omgeving dus. En de mensen uit die omgeving hebben de cognitieve instrumenten die ze gebruiken zelf weer overgenomen uit hun omgeving. Kortom: de cognitieve ontwikkeling van het kind baseert zich op de geestelijke verworvenheden van de cultuur waarin het opgroeit. Dit is nu de kerngedachte van de cultuurhistorische theorie, die de geniale Russische psycholoog Lev Vygotskij kort voor zijn dood formuleerde, maar die in het westen pas dertig jaar later bekend geworden is.”³⁵¹

Door welk proces maakt het kind zich nu de cognitieve instrumenten uit de omringende cultuur eigen? In essentie door verinnerlijking tot mentale handelingen, via verbale handelingen, van de aanvankelijk materiële handelingen. De overdracht van zulke handelingen gebeurt, aldus Vygotsky, in de *dialog* tussen volwassene en kind. In deze dialoog neemt het kind *werkenwijzen* over, alsmede daaraan verbonden begrippen. Aanvankelijk zijn dit nog dagelijks-leven-begrippen, maar de school voegt hier de wetenschappelijke begrippen aan toe. Onderwijs dat de nadruk legt op het verwerven van deze cognitieve instrumenten is *ontwikkeland onderwijs*. Een begrip dat meer reliëf krijgt als het geplaatst wordt naast het *volgend onderwijs* à la Piaget. Om deze ontwikkeling te optimaliseren moet het onderwijs vooruit lopen op de actuele ontwikkeling. Het moet zich richten op datgene wat voor het kind de zone-van-naaste-ontwikkeling is. Een nogal vaag begrip, dat zich echter enigszins laat operationaliseren door het te specificeren als bestaande uit die cognitieve verrichtingen die het kind samen met een volwassene al wel kan volbrengen, maar nog niet zelfstandig.

Hoe verhoudt Vygotsky zich nu tot ‘het’ constructivisme? Daarvoor ga ik weer te rade bij Van Oers¹⁸⁹ die, denk ik, niet voor niets een artikel geschreven heeft onder de titel: ‘Cultuuroverdracht als reconstruerende activiteit’, waarin hij zegt: “*Het lijkt geen twijfel dat er tussen de thans dominerende conceptie van ‘het’ constructivisme en de Vygotskiaanse benadering van onderwijsleerprocessen vele punten van overeenkomst bestaan. Ook Vygotskij (...) vertrok vanuit een ‘constructivistische’ visie op kennis.*” Van Oers beargumenteert dan dat constructivisten eigenlijk nergens precies omschrijven wat, psychologisch gezien, onder ‘construeren’ als menselijke activiteit verstaan moet worden. En daardoor ontsnapt het feit dat ‘construeren in essentie sociaal van oorsprong is’, en ook eerst geleerd moet worden, aan hun aandacht. “*Het thans vigerende didactisch constructivisme ontbeert een ontwikkelingsvisie op het construeren. De veronderstelling dat leerlingen binnen stimulerende probleemsituaties tot voor de cultuur acceptabele constructies zullen komen, is echter alleen plausibel als we ervan uit kunnen gaan dat leerlingen hebben leren construeren overeenkomstig (conventionele) normen (o.a. van rationaliteit). Anders gezegd constructivistisch onderwijs veronderstelt dat leerlingen zijn ingeleid in het proces van gezamenlijke kennisconstructie waarin zowel de leraar als de leerlingen participanten zijn. Cultuuroverdracht wordt dan het gezamenlijke – volgens gedeelde regels – reconstrueren van cultuur. Alleen dan is het zinvol om van cultuuroverdracht te blijven spreken zonder te vervallen in mechanische transmissie van cultuurinhouden en de authenticiteit van het leren van de leerlingen geweld aan te doen. (...)*

Belangrijk hier is dus ook om aan te geven hoe de ontwikkeling van het construeren door de leerkracht kan worden georganiseerd zonder daarbij het principe van de eigen activiteit en zingeving van de leerling geweld aan te doen. Vanuit Vygotskiaan perspectief is het belangrijk, dat leerlingen betekenisgebelen opbouwen in het kader van een sociaal-culturele activiteit waaraan zij kunnen en willen deelnemen, maar waarvan blijkt dat ze die activiteit nog niet volledig zelfstandig beheersen.”¹⁸⁹

Dat is dus wat we hierboven de zone van naaste ontwikkeling hebben genoemd. En

omdat de nieuw uit te voeren handelingen (nieuw te leren betekenissen) passen binnen de activiteit waaraan leerlingen (naar veronderstelling) ‘willen en kunnen deelnemen’, zouden zij ook de zin van die handelingen en betekenissen gemakkelijker kunnen herkennen. De betekenisverlening die tijdens het handelen plaatsvindt, omschrijft Van Oers als semiotische activiteit. “*Door het combineren van betekenissen aan de hand van tekens construeren mensen nieuwe betekenissen. Naarmate deze betekenissen meer en meer worden getoetst aan sociaal gedeelde normen van rationaliteit, consistentie, etc., gaat het construeren van betekenissen over in een sociaal-culturele vorm van kennisconstructie en gaat het qua activiteit steeds meer lijken op de dynamiek van de wetenschappelijke kennisproductie.*”

10.3.3 Enculturatie

In vergelijking met het socio-constructivisme, waarin steeds over kennisconstructie sec wordt gesproken, vallen veel overeenkomsten op, maar toch ook belangrijke verschillen. Door in het onderwijs uit te gaan van een sociaal-culturele activiteit waaraan leerlingen willen en kunnen deelnemen, gaat het steeds om een samenspel van doel, motief en uitvoering. De te construeren betekenissen (kennis) ontlene daaraan hun *zin*, ook voor leerlingen als het goed is. Deze kennis heeft een *doel* binnen de cultuuroverdragende activiteit, er is een handelingsmotief dat tot *motieven* van/voor leerlingen kan worden ontwikkeld, terwijl ook de rol van de docent duidelijk is. Zaken die, zoals we zagen, binnen een (socio-)constructivistische optiek niet onproblematisch waren. Kortom, deze benadering lijkt, in ieder geval in theorie, perspectief te bieden. Cultuuroverdracht dus, enculturatie, maar van welke cultuur? Dat is niet zonder meer duidelijk als we het ‘willen en kunnen’ van leerlingen serieus nemen. Eigenlijk zouden leerlingen dan inspraak moeten hebben in de culturele activiteiten die aan de orde gesteld worden. Daarom is de eerder besproken keuze van handelingspraktijken ook niet onproblematisch. Als immers leerlingen niet aan deze (gedidactiseerde) praktijken ‘willen en kunnen’ deelnemen, en dat is gezien hun top-down karakter zeer wel mogelijk, dan wordt niet voldaan aan een belangrijke kern van deze cultuurhistorische aanpak. Het moge weliswaar juist zijn, zoals Leont’ev stelt, dat de maatschappij opgevat kan worden als een conglomeraat van maatschappelijke praktijken, maar de veronderstelling dat het daarom ook een geschikt uitgangspunt zou zijn voor curriculumconstructie, is een daarvan losstaande aanname.

Het doel van onderwijs in deze cultuurhistorische opvatting is kinderen uit te rusten voor *deelname aan* relevante praktijken. Bijvoorbeeld, in het beroepsonderwijs worden leerlingen die een opleiding voor automonteur volgen, opgeleid tot deelname aan die maatschappelijke beroepspraktijk. Passend daarbij is de vorm van ‘cognitive apprenticeship’ (in zekere zin het oude gildemodel van meester-gezel) als opleidingsmodel. En door ‘scaffolding’ spreekt de meester de gezel aan (of door voor te doen) in zijn zone van naaste ontwikkeling. De ‘tools’ waarmee de gezel wordt uitgerust zijn gesitueerd in en door de praktijk. Het gaat om het leren van in die praktijk bruikbare tools, niet om zoiets als ‘ware kennis’ of om ‘het begrijpen van de natuur’. Het is duidelijk dat de gezel die wordt opgeleid tot automonteur niet alleen de daarop gerichte gesitueerde cognitieve ‘tools’ moet verwerven, maar ook de voor die praktijk noodzakelijke vaardigheden en gewenste houdingen moet ontwikkelen, dus de in die praktijk geldende

normen moet verinnerlijken. Kortom, het is uiterst functioneel om voor dit soort opleidingsituaties te spreken van het ontwikkelen van de noodzakelijke competenties.

Is dit model nu ook zonder meer toepasbaar voor het VWO/HAVO? Niet zonder fricties, volgens mij. Om te beginnen wordt een leerling daarin niet direct opgeleid tot *deelname* aan een beroepspraktijk. Het gaat eerder om de voorbereiding van de keuze voor een opleiding tot deelname aan een (natuur)wetenschapsgerelateerde beroepspraktijk. Is het hiervoor dan wel functioneel het onderwijs te organiseren in de vorm van relatief oppervlakkige kennismakingen met ‘authentieke’ gedidactiseerde beroepspraktijken? Voor de oriënterende functie wel, denk ik, maar het probleem blijft dat, tegelijk met die praktijkoriëntatie, basiskennis moet worden onderwezen die aan die praktijk ten grondslag ligt. En hoe motiveer je dat? Dat lijkt onvermijdelijk tot didactische fricties, waarvan de authenticiteit het eerste slachtoffer is! Los hiervan kunnen we ook de fundamentele vraag stellen: aan welke overkoepelende maatschappelijke praktijk(en) zouden leerlingen in het voortgezet onderwijs ‘willen en kunnen’ deelnemen, waarvoor de te onderwijzen natuurkunde functioneel is?³⁵⁵ Een vraag waarop ik geen ander antwoord kan bedenken dan ‘het handelen van een ‘scientifically literate citizen’, waarbij ik me afvraag of deze ‘praktijk’ niet om een heel andere curriculumstructuur vraagt als hiervoor aan de orde is geweest. Hoe dan ook, het vormgeven van een natuurkundecurriculum op basis van ‘authentic social-cultural practices’ is, zoals eerder besproken, in het algemeen voortgezet onderwijs zeker niet zonder problemen.

10.3.4 ‘Learning demand’ en recontextualisatie

Nog even terug naar de klas. Ofwel, naar een ‘community of learners’ die ‘tools’ ter beschikking moeten krijgen ter ‘mediëring’ van deelname aan een ‘community of practice’. Deze gemeenschap van lerenden heeft nu echter meer weg van de gemeenschap van een ‘meester met zijn gezellen’. Ofwel, de docent is niet langer vooral coach, maar heeft weer een inhoudelijke hoofdrol. En dat heeft ook gevolgen voor de inhoudelijke structuur van een lessenserie, die nu heel anders is als bijvoorbeeld in het CLIS-project. Leach & Scott³⁵⁶ onderscheiden in een ‘social-constructivist teaching sequence’ de volgende fasering: 1) Staging the scientific theory, 2) Supporting student internalisation, en 3) Handing-over responsibility to the students.

“In thinking about staging the scientific story, we have found it useful to draw upon the distinction made between the ‘authoritative’ and ‘dialogic’ function of texts. The principle function of authoritative discourse is to introduce, or make available, ideas, whereas dialogic discourse involves exploration of meanings. In the classroom, authoritative discourse might involve the teacher in presenting new ideas in a transmissive mode which offers the students little, or no, invitation for discussion. Dialogic discourse might see the teacher asking for, and discussing student opinions, or it might involve students in discussing ideas with each other. It seems reasonable to suggest that learning in the classroom will be enhanced through achieving some kind of balance between presenting information (focusing on the authoritative function) and allowing opportunities for exploration of ideas (focusing on the dialogic

³⁵⁵ Bij zo’n vraagstelling past eigenlijk helemaal geen opsplitsing in vakonderwijs volgens wetenschappelijke disciplines.

function.” In deze uitwerking is de besproken kritiek van Ogborn serieus genomen voor wat betreft een didactiek waarin de docent niet meer de hoofdrol zou hebben in het naar voren brengen van wetenschappelijke ideeën, om deze ‘to talk into existence’.

En hoe nu met de ‘denkbeelden van leerlingen’? Zijn we nu weer terug bij de aloude didactische driedeling van ‘uitleg van theorie, voordoen van opgaven en zelfstandig oefenen’? Toch niet helemaal. Leach & Scott nemen daarvoor de term ‘social language’ over, die ze gebruiken om te komen tot het begrip ‘learning demand’. “*Different social languages are used by specific communities of people for particular purposes. Thus a distinction can be drawn between the ‘everyday’ social language of day-to-day living and the ‘scientific’ social language which is first formally introduced at school.*”³⁵⁶ Inderdaad herkennen we hierin het Vygotskiaanse kader. Zij gebruiken dit als volgt: “*The concept of ‘learning demand’ offers a way of appraising the differences between the social language of school science and the everyday social language which learners bring to the classroom. The purpose of identifying learning demands is to bring into sharper focus the intellectual challenges facing learners as they address a particular aspect of school science; teaching can then be designed to focus on those learning demands.*” Er is geen sprake meer van ‘conceptual change’, vanwege alternatieve denkbeelden die zouden moeten worden vervangen. Dat is nu allemaal ondergebracht in de functionele ‘everyday social language’, waarmee natuurlijk wel rekening moet worden gehouden voor een succesvol leerproces. Maar de manier waarop is aan de docent of onderwijsontwerper.

In ‘onze’ benadering van handelingspraktijken is de situatie echter gecompliceerder. Leach & Scott nemen ‘school science’ als één geheel, als behorend bij één ‘community of practice’, met één bijbehorende ‘social language’. Maar als we uitgaan van de didacticisering van verschillende maatschappelijke praktijken, hebben we te maken met evenzovele gesitueerde talen en ‘tools’. En zullen we aandacht moeten besteden aan wat we eerder recontextualisatie hebben genoemd. De automonteur leert een ‘wet van Ohm’ die gaat over het elektrische systeem van auto’s. De elektricien leert een ‘wet van Ohm’ die gaat over elektrische huisinstallaties. En de vraag is in hoeverre ze elkaar nog kunnen en willen verstaan³⁵⁷. Van Aalsvoort¹²⁶ noemt dit het ‘multiperspective character of concepts’, alhoewel je dat ook weer niet moet overdrijven. Deelnemers aan een andere praktijk komen nu ook weer niet van een andere planeet, dus vertalen voor elkaar is altijd mogelijk. Wierdsma³⁵⁸ heeft recentelijk zijn aandacht gericht op het vinden van een geschikte didactische strategie voor dit recontextualiseren. Hij deed dit voor het complexe biologische begrip ‘dissimilatie’, dat werd onderwezen in drie contexten, die gerelateerd waren aan drie praktijken, te weten: sportfysiologie, biotechnologie en biologisch onderzoek. Naar mijn idee kan transfer van de ene naar de andere context in gang gezet worden door een analogieredenering, en door te (leren) abstraheren van het vermoedelijk contextspecifieke (decontextualiseren) om daarna het vermoedelijk algemene weer te specificeren (recontextualiseren). Noch de

³⁵⁶ J. Leach & P. Scott (2002). Designing and evaluating science teaching sequences: An approach drawing upon the concept of learning demand and a social constructivist perspective on learning. *Studies in Science Education*, 38, 115-142.

³⁵⁷ Dat dit niet uit de lucht gegrepen is weet iedere lerarensectie die wel eens heeft moeten samenwerken met een andere sectie. Of elke natuurkundedidacticus die moet samenwerken met een chemie- of wiskundedidacticus. Het vergt dan veel tijd en goede wil om eerst elkaars taal te leren.

³⁵⁸ M.D.M. Wierdsma (2012). *Recontextualising Cellular Respiration*. Utrecht: FIsme.

automonteur, noch de elektriciën hoeft dit echter te kunnen, maar voor de leerling in het algemeen voortgezet onderwijs zou het, zolang daarin algemene kennis centraal staat, juist essentieel zijn. Dit plaatst, ondanks de genoemde voordelen, toch een belangrijke kanttekening bij een al te simplistische toepassing van handelingspraktijken.

10.3.5. Energie als voorbeeld

Laat ik dit alles nog met een voorbeeld verduidelijken, dat minder uitgaat van maatschappelijke praktijken, maar meer van een ‘gewone’ context-conceptbenadering. Aan het slot van paragraaf 8.2.2 heb ik geschreven over drie ‘praktijken’, of contexten, ten aanzien van handelen met en praten over energie, te weten een persoonlijke, een maatschappelijke en een natuurkundige praktijk. De persoonlijke praktijk kenmerkt zich door ‘energieverbruik (thuis)’, de maatschappelijke door ‘energievoorziening (van ons land)’ en de vakwetenschappelijk natuurkundige door ‘energiebehoud (overal)’. In 8.2.2 heb ik ruwweg de drie bijbehorende ‘social languages’ beschreven, zoals ik dat nu moet noemen, die deze praktijken kenmerken, waarbij je de overgang van de eerste twee naar de derde de uiteindelijke ‘learning demand’ zou kunnen noemen. In deze drie praktijken wordt, im- of expliciet, een meer of minder verschillend energiebegrip gehanteerd. Het gebruik van deze begrippen heb ik samengevat in wat je ruwweg een definitie zou kunnen noemen en daarvoor geldt wat Wierdsma schrijft. “*Any definition of a concept is essentially created for purposes of communication. It is a product of activity and strongly connected to the social practice(s) that needed the definition.*” Wat betekent dit nu voor het onderwijs over energie?³⁵⁹ Ik zal daarvoor nu een hypothetische uitlijning schetsen¹⁹⁴, waarbij ik gebruik zal maken van zowel het niveaudenken à la Van Hiele en Ten Voorde^{241,242}, als van het idee van recontextualiseren bij een overgang tussen praktijken.

We beginnen dan bij het energieverbruik thuis, wat geïdentificeerd kan worden vanuit het perspectief van ‘verstandiger omgaan met energie’. Hierdoor kan er aandachtselectie plaatsvinden voor die situaties en aspecten uit de persoonlijke leefwereld die relevant lijken voor behandeling in de natuurkundeles. Ten Voorde noemt dit het *grondniveau*. In dit niveau is een intuïtief-globale samenhang bekend, in die zin dat het steeds gaat over situaties en handelingen die ‘met energie te maken hebben’ (in de zin van de leefwereld), maar waarover nog geen geordende natuurkundige argumentatie mogelijk is. Nu doet zich een cruciaal keuzemoment voor. Wordt het onderwijs nu direct en voortdurend gericht op het bereiken van het theoretische begrippenkader van de wetenschappelijke natuurkunde, zoals in ‘traditioneel’ onderwijs meestal gebruikelijk is (of was?), of wordt als doelstelling gekozen het ‘verstandiger kunnen omgaan met energie’ in de persoonlijke gebruikspraktijk? Ons uitgangspunt van aansluiting bij de leefwereld vooronderstelt uiteraard de tweede keus. Dat betekent dat we de globaal-intuïtieve samenhang zingevend moeten problematiseren, en toespitsen op de vraag naar fysisch-technische aspecten die relevant zijn voor beter omgaan met energie. Het onderwijs moet nu leiden tot een niveau waarin leefwereldbegrippen worden

³⁵⁹ Zie ook: R. Genseberger & P.L. Lijnse (2007). Energieonderwijs: een onopgelost probleem. *NVOX*, 32, 364-365. Genseberger (2007) heeft een oplossing vanuit een historisch perspectief gezocht in zijn lessenserie ‘De stoommachine, welvaart en wetenschap’ (Utrecht: FIsme).

gekwantificeerd, gerelateerd en aangevuld, zodanig dat we daarmee de relevante energiesituaties inderdaad kunnen beschrijven vanuit de gekozen optiek. Dat wil zeggen dat een 'praktische instelling' kenmerkend is voor deze onderwijsperiode. Het hieruit resulterende *beschrijvende niveau*, of misschien wel beter, *kwantitatief leefwereldniveau*, gaat nog steeds uit van het centrale idee dat energie iets 'materieels' is dat in principe verloren gaat. Om dat zoveel mogelijk te voorkomen kun je maatregelen nemen en het effect daarvan kun je uitrekenen. 'Energiebehoud' functioneert als regel om te kunnen berekenen hoeveel energie er toch verloren gaat in een bepaald proces of apparaat, etc. Gebonden aan praktische situaties kan over een meer kwantitatief begrippenkader beschikt worden, en vanuit de optiek van besparingsmaatregelen is over deze situaties en maatregelen met behulp van deze begrippen nu ook 'natuurkundige' argumentatie mogelijk. Echter, op dit niveau kunnen nog vrijwel alle kwalitatieve leefwerelddenkenbeelden over energie grotendeels onaangetast blijven. Dit niveau van begripsvorming kan men daarom omschrijven als functioneel, of praktijkrelevant, in die zin dat het direct is afgestemd op het kunnen argumenteren over en handelen in de gekozen praktijksituaties.

In een volgende onderwijsperiode kan de aandacht verschuiven naar de praktijk van de landelijke energievoorziening. Dat vraagt om een bescheiden recontextualisatie en verdere uitbreiding van het kwantitatieve leefwereldniveau. In analogie met de terminologie van Treffers²⁵⁶ zou je hier kunnen spreken van '*horizontale recontextualisering*'. Het eindniveau dat zo bereikt wordt, zou je als doel kunnen stellen voor de natuurkundig geletterde burger, met een eigen 'social language', tussen de twee eerder genoemde in. In een derde onderwijsperiode, voor diegenen die het vak natuurkunde gekozen hebben, moet een tweede niveauovergang plaats vinden, van beschrijvend naar *theoretisch niveau*. Hiervoor is, mijns inziens, de wetenschappelijke natuurkundige praktijk het best geschikt, waarvoor dan wel eerst een 'theoretische instelling' dient te worden opgeroepen, met als kenmerk het geleid (willen) worden door een verklarend en unificerend motief. Immers, alleen dan kunnen mathematische idealiseringen, scherpe begripsvorming en uiterste taalnauwkeurigheid als nodig en zinvol worden ervaren. Centraal hierin staan de eerste en tweede hoofdwet. Deze tweede niveauverhoging komt niet alleen neer op een uitbreiding en aanscherping, maar vooral ook op een *verticale recontextualisatie* van het al aanwezige begrippenkader. Deze niveauverhoging kan, denk ik, in het onderwijs het best nagestreefd worden vanuit geschikt gekozen, geïdealiseerde fysische situaties. Wanneer het theoretische niveau in eerste aanzet vanuit deze geïdealiseerde situaties is verworven, en dus al een eerste recontextualisatie heeft plaatsgevonden, lijkt het vervolgens dienstig om terug te keren naar de situaties van de eerdere praktijken. Door deze situaties nu te verklaren vanuit het theoretisch niveau, kan de recontextualisatie verder voltooid worden. Daaruit blijkt dan tevens dat vakwetenschappelijke begripsvorming uiteraard ook praktijkrelevant is, en zelfs nog sterker dan van het beschrijvend niveau, maar vanuit een ander perspectief is gemotiveerd.

Ter afronding nog twee opmerkingen. Met dit laatste voorbeeld hoop ik te hebben gedemonstreerd dat al deze nogal abstracte beschouwingen wel degelijk ook hun vrucht kunnen afwerpen bij het doordenken van onderwijsvormgeving over concrete onderwerpen. Ook al is het voorbeeld nooit in de praktijk getoetst. Dat geldt trou-

wens wel voor de uitwerking van de onderwerpen die nu zullen volgen. De tweede opmerking is dat ik hiermee in feite ook een voorbeeld heb geschetst van wat tegenwoordig een ‘learning progression’ heet. “*Learning progressions are generally viewed by researchers as conjectural or hypothetical model pathways of learning over periods of time that have been empirically validated.*”³⁶⁰ In de literatuur worden steeds meer voorbeelden van zulke leerlijnen gepubliceerd. In zekere zin moeten in deze leerlijnen alle resultaten van onderzoek naar leerproblemen en voorgestelde oplossingen daarvoor zijn verwerkt, maar dat wil nog wel eens te wensen overlaten. De bedoeling is ook dat deze leerlijnen empirisch getoetst zijn, en liefst zo ‘hard’ mogelijk, zodat sprake is van voorstellen die ‘evidence based’ zijn. Maar ook dat blijkt nog niet altijd zo eenvoudig te zijn^{360,361}.

10.4 Afsluiting

Dit hoofdstuk beschrijft drie psychologische benaderingen die hun invloed hebben doen gelden op de natuurkundendidactiek. In alle drie wordt trouwens ook een triviaal constructivistisch uitgangspunt gehanteerd, al ligt daar niet het accent op. Aandacht voor probleemoplossen is tegenwoordig weliswaar gemeengoed geworden in ons onderwijs, maar meestal wordt er niet voldoende aandacht besteed aan het goed invoeren van heuristieken en ook niet aan een zorgvuldige opbouw van probleemschemata. Domeinspecifieke heuristieken en probleemcategorisering krijgen nog nauwelijks of geen aandacht.

Aandacht voor metacognitie is er wel in ruime mate geweest, vooral met het oog op algemene vaardigheden, maar veel minder met het oog op diepe verwerking van te leren kennis. Wat dat betreft valt er nog wel iets te doen, lijkt me.

Gegeven de huidige aandacht voor contexten, zou je kunnen zeggen dat een ‘gematigde’ cultuurhistorische optiek momenteel dichterbij staat bij toepassing in onze praktijk. Te meer daar dit niet dwars staat op een meer directieve instructievorm. Toch zal er, naar mijn idee, in onze praktijk nog weinig expliciete aandacht zijn voor zaken als recontextualisatie, of ‘social languages’.

Kortom, er valt voor de praktijk nog genoeg te winnen en te leren van de beschreven zaken.

³⁶⁰ R. Duschl, S. Maenga & A. Sezenb (2011). Learning progressions and teaching sequences: A review and analysis. *Studies in Science Education*, 47, 123-182.

³⁶¹ H-S Lee & O.L. Liu (2009). Assessing learning progression of energy concepts across middle school grades: The knowledge integration perspective. *Science Education*, 93, 665-687.

11 Utrechtse ‘oplossingen’: een probleemstellende aanpak

11.0 Doel

Ook in Utrecht hebben we jarenlang gewerkt aan het zoeken naar oplossingen voor de geschetste natuurkundige begripsproblematiek. Dit is gedaan vanuit een constructivistisch geïnspireerd kader, alhoewel we daarin onze eigen weg hebben gezocht. Dit hoofdstuk wil een beeld schetsen van de belangrijkste uitkomsten van deze zoektocht, die heeft plaatsgevonden onder de naam: een probleemstellende aanpak. Deze uitkomsten worden samengevat in wat we ‘didactische structuren’ zijn gaan noemen. Uiteraard valt er veel meer over te zeggen dan wat hier nu gedaan zal worden, maar bescheidenheid noopt nu eenmaal tot beperking.

11.1 Probleemstelling

Ik wil mijn beschrijving van ‘oplossingen’ voor ‘onze’ didactische problemen afsluiten met een overzicht van ons eigen werk in Utrecht, dat aan de ene kant helemaal past in het voorgaande, maar toch vanuit een eigen optiek is gedaan. Ons onderzoek richtte zich op de didactische bruikbaarheid van een zogenoemde ‘probleemstellende aanpak’. Deze aanpak kwam enerzijds voort uit de toch teleurstellende cognitieve leerresultaten die volgden uit het onderzoek naar het PLON-project¹⁵, en anderzijds uit de vele onderzoeken naar begripsproblemen van leerlingen. Kon een weg gevonden worden om de inhoudelijke didactiek verder te verbeteren? Al doende ontwikkelde zich een didactische optiek die zowel gericht was op het verbeteren van het inhoudelijke onderwijsleerproces, als op een daaraan gekoppelde verbetering van de inhoudelijke motivering van leerlingen^{203,206,217,347,362}. Uitgangspunt voor deze aanpak was wat ik eerder een triviaal-constructivistische opvatting over leren heb genoemd, die, als zodanig, nog niet verbonden is met een opvatting over onderwijzen. Echter, als men wil voorkomen dat een onderwijsleerproces al te snel resulteert in *geforceerde* begripsontwikkeling, met alle misconcepties die daaraan verbonden zijn, of, in andere woorden, als men vindt dat onderwijzen toch zou moeten resulteren in zoiets als ‘echt’ begrijpen, dan

³⁶² P.L. Lijnse (2005). Reflections on a problem posing approach. In: K.Th. Boersma, M. Goedhart, O. de Jong & H.M.C. Eijkelhof (Eds.). *Research and the Quality of Science Education*. Dordrecht: Springer.

P.L. Lijnse & C.W.J.M. Klaassen (2004). Didactical structures as an outcome of research on teaching-learning sequences? *International Journal of Science Education*, 26, 537-554.

J. Kortland, C.W.J.M. Klaassen, P.L. Lijnse & T. van den Brink (2003). Een probleemstellende lessenserie. *NVOX*, 28, 260.

M.J. Vollebregt, C.W.J.M. Klaassen, R. Genseberger & P.L. Lijnse (1999). Leerlingen motiveren via probleemstellend onderwijs. *NVOX*, 24, 339-341.

Veel is ontleend aan: P.L. Lijnse (2003). Op weg naar een didactische structuur van de natuurkunde? *TD-β*, 19, 62-92.

lijkt het noodzakelijk om lerenden voldoende ruimte te geven om *hun* constructies, die immers noch kunnen worden voorkomen, noch volledig kunnen worden voorspeld, expliciet te maken (vrijheid van onderop). Dan kan daar, door middel van interacties met mede-lerenden of de docent, niet alleen op adequate wijze op worden ingespeeld, maar ook gekomen worden tot een gemeenschappelijk constructieproces, wat dus een milde vorm van *didactisch* socio-constructivisme genoemd zou kunnen worden. Tegelijkertijd moet dit constructieproces dan zo zorgvuldig (be)geleid worden, dat toch de gestelde doelen bereikt worden ((be)geleiding van bovenaf). In onze opvatting is het van begin af aan altijd vanzelfsprekend geweest dat de docent niet alleen een coachende, maar ook een richtinggevende rol vervult in het onderwijs. Het vinden van een adequate balans tussen deze noodzakelijke vrijheid van onderop en de even noodzakelijke begeleiding van bovenaf vormde het hart van ons didactisch onderzoek. Het houdt in dat we proberen leerlingen te (bege)leiden in een *bottom-up* leerproces dat begint bij een gemeenschappelijk startpunt (*common ground*). En dat we een onderwijs-traject ontwerpen dat het leerlingen geleidelijk mogelijk maakt om juist die begrippen en vaardigheden te construeren die we hen ook willen onderwijzen.

Op het eerste gezicht lijken deze opvattingen, in het licht van al het voorgaande, weinig nieuws in te houden. Toch weken we in ons werk hier op twee hoofdpunten van af. Alhoewel we ‘educational constructivism’, in de hierboven beschreven zin, als een belangrijk uitgangspunt accepteerden, sloten we ons, zoals beschreven in hoofdstuk 8, niet zonder meer aan bij de daaraan vaak verbonden ‘alternative framework movement’. Voor zover het cognitief leren betreft, lijkt het ons het beste om het leren van natuurwetenschap te zien als een proces waarin leerlingen, gebruikmakend van hun aanwezige begrippen, ervaringsbasis en systeem van ‘beliefs’, hieraan nieuwe kennis toevoegen (met eventueel bijbehorende veranderingen in betekenissen van termen). Met, als een tweede uitgangspunt, dat, wil dit proces ook door leerlingen als *zinnol* kunnen worden ervaren, er zo goed mogelijk voor gezorgd dient te worden dat zij ook zelf de *inhoudelijke functie* zien van dat toevoegen. Of, in andere woorden, leerlingen zouden op elk moment tijdens het onderwijsleerproces inhoudelijk moeten kunnen inzien *waarom ze wat aan het doen zijn*³⁶³. Als dat het geval is, zal het onderwijsleerproces naar alle waarschijnlijkheid voor hen *zinvoller* zijn, en dus zal het waarschijnlijker worden dat ze dan ook nieuwe kennis zullen kunnen en willen construeren of accommoderen op voor henzelf begrijpelijke gronden. Een benadering van het (natuurwetenschappelijk) onderwijs die zich hier expliciet op richt, noemden wij *probleemstellend*. De nadruk van een probleemstellende benadering ligt er dus op om leerlingen in een dusdanige positie te brengen dat zij zelf de *inhoudelijke zin* gaan inzien van het in een *bepaalde richting* gaan uitbreiden van hun bestaande begrippenapparaat, opvattingen en ervaringen. Zo geformuleerd, lijkt ook dit tweede uitgangspunt nogal triviaal, en te-

³⁶³ Dat dit in de onderwijspraktijk niet vanzelfsprekend is moge blijken uit het volgende citaat³³²: “In the following typical example, the student (P) has been asked by the interviewer (O) about the purpose of the activity they have just completed.

P He talked about it... That's about all...

O What have you decided it [the activity] is all about?

P I dunno, I never really thought about it... just doing it – doing what it says... its 8.5... just got to do different numbers and the next one we have to do is this [points in text to 8.6].”

recht. En aangezien beide uitgangspunten op zichzelf verder nog geen gedetailleerde didactische aanwijzingen geven, ligt de werkelijke didactische uitdaging, zoals al gezegd, in de kwaliteit waarmee deze uitgangspunten in de praktijk kunnen worden uitgewerkt³⁶⁴. In het voorgaande hebben we ettelijke keren geconstateerd dat leerlingen zich vaak moeten voelen als zich te bevinden in een ‘geblindeerde trein’, of in ‘een zee zonder oevers’. Dat onderwijs zo wordt vormgegeven dat leerlingen geen idee kunnen hebben van waar ze naar op weg zijn. Welnu, juist dat niet-triviale probleem wil een probleemstellende aanpak aanpakken! Hoe en of dat gelukt is, wil ik nu, aan de hand van enkele voorbeelden van uit ons onderzoek resulterende didactische structuren, beschrijven en bediscussieren.

11.2 Voorbeelden van didactische structuren

11.2.1 Een inleiding tot radioactiviteit

Het eerste voorbeeld heeft betrekking op de introductie van het onderwerp radioactiviteit voor MAVO-leerlingen van ca. 15 jaar, zoals ontworpen door Klaassen²⁰⁶. Daarvoor is, in een herhaald proces van ontwerpen, uitproberen en reflecteren, een serie van twaalf lessen ontwikkeld, hoofdzakelijk vanuit een *praktische* oriëntatie. Zijn eerste doel was om een didactische aanpak te ontwerpen, die niet zou resulteren in de gebruikelijke begripsverwarringen ten aanzien van radioactiviteit¹⁹³, zoals beschreven in hoofdstuk 8, maar het leefwerelddenken ten aanzien van radioactiviteit juist positief zou gebruiken in een proces van natuurkundige begripsontwikkeling. Met als tweede, gelijkwaardige, doel dat leerlingen tijdens het onderwijsleerproces steeds zouden weten wat ze waarom aan het doen waren, ofwel daarvan steeds de inhoudelijke zin konden inzien. Ik geef nu eerst een korte samenvatting van de lessenserie.³⁶⁵

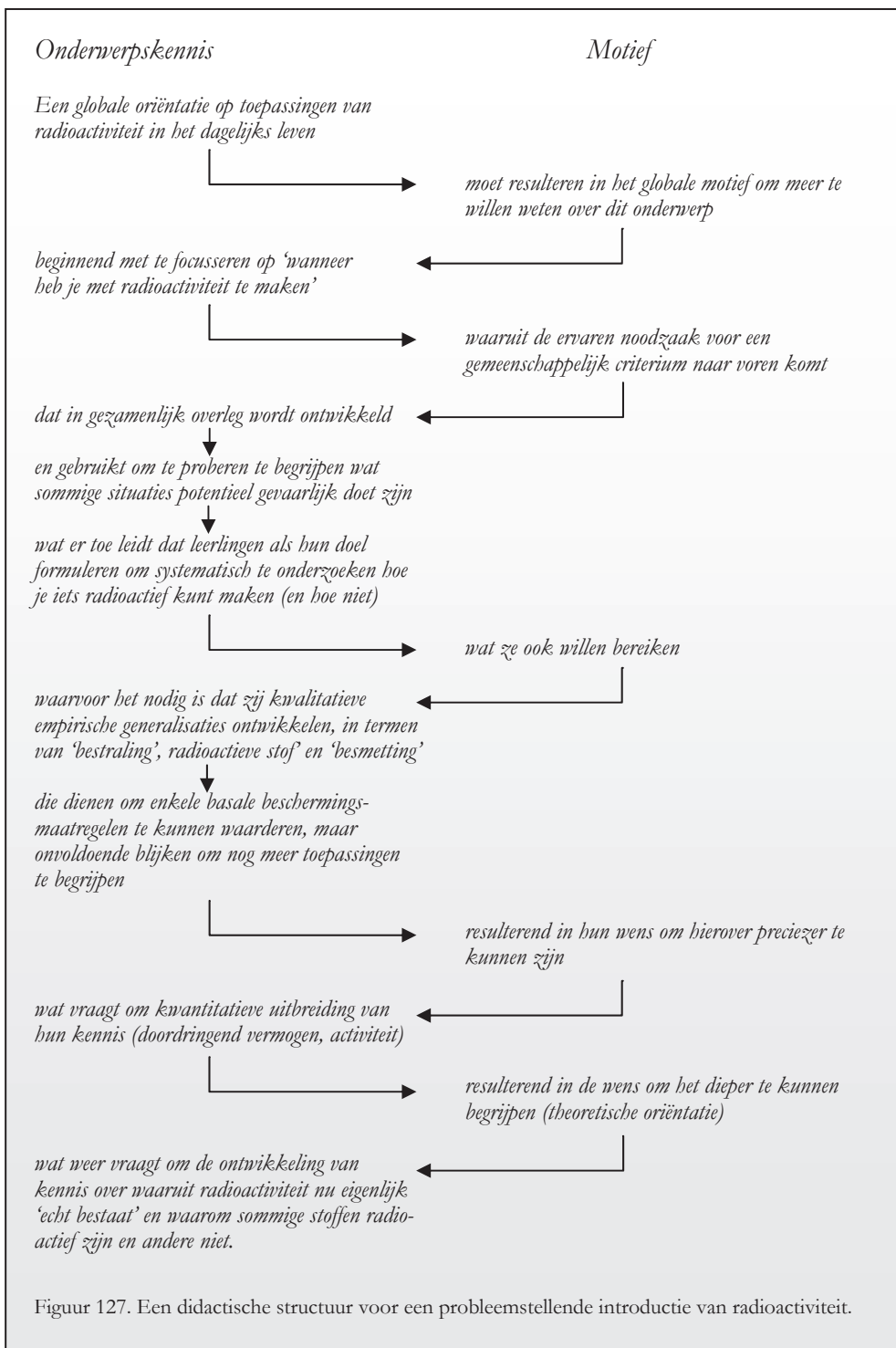
Als alternatief voor de *gangbare behandeling van radioactiviteit* is Klaassen gekomen tot een opbouw die zo ongeveer een omkering is van wat gebruikelijk is. Het onderwerp wordt zo ingeleid dat leerlingen een idee krijgen waar het over zal gaan en, belangrijker, hoe ze daar aan kunnen gaan werken. Daartoe wordt de vraag gesteld hoe je kunt weten dat je met radioactiviteit te maken hebt. Leerlingen zijn het er vrijwel unaniem over eens dat kerncentrales en röntgenapparaten iets met radioactiviteit te maken hebben. Maar of een batterij radioactief is, of een laser, of een magneet, daarover zijn ze niet zo zeker of verschillen ze van mening. Vanwege die twijfels en meningsverschillen is het nodig een criterium af te spreken op grond waarvan je kunt vaststellen of iets radioactief is of niet. Dat gemeenschappelijk afgesproken criterium wordt het tikken

³⁶⁴ In feite komt het er op neer dat we leerlingen zoveel mogelijk zelf natuurwetenschappelijk bezig willen laten zijn. Dat wil zeggen vanuit een (natuurwetenschappelijke) vraag (samen met de docent) gaan zoeken naar een antwoord en dat antwoord ook interpreteren en accepteren in het licht van die vraag, leidend tot nieuwe vragen, etc. Overigens betekent dit niet dat de leerling nu alles zelf moet ontdekken, er is wel degelijk een belangrijke rol weggelegd voor de inhoudelijke inbreng van de docent (en andere informatiebronnen).

³⁶⁵ Deze samenvatting is grotendeels ontleend aan: <http://www.ecent.nl/artikel/1552/Probleemstellend+onderwijs+over+radioactiviteit/view.do>

van een geigerteller, dat leerlingen in het vervolg in staat zal stellen hun uitspraken experimenteel te controleren. Daarmee kun je, bijvoorbeeld, nagaan of een radioactieve situatie altijd gevaarlijk is (als de geigerteller harder gaat tikken wel, anders niet). En dat je een bron (een potje met radioactieve stenen in de klas) kunt afschermen tot je geen straling meer meet door er steeds meer lood omheen te doen. Maar hoe zat het dan met Chernobyl? Kun je dat nabootsen in de klas? Tot op zekere hoogte lukt dat, bijvoorbeeld door het potje met stenen open te maken. Als ze dan achter in de klas nog geen straling meten, moet er 'wind' gemaakt worden om de straling van de veroorzaker ('Chernobyl') naar het voorwerp ('Nederland') te blazen. Deze keer blijkt hun voorstel niet te werken, tot hun verbazing. Immers, na het ongeluk in Chernobyl was de spinazie in Nederland wél radioactief geworden, dus hoe kon dat dan? Leerlingen wordt gevraagd dit te simuleren, door met de spullen in de klas een appel radioactief te maken. Dat denken ze in eerste instantie wel te kunnen, bijvoorbeeld door de appel in de buurt van een radioactief voorwerp te leggen of in een röntgenapparaat. Hun verbazing neemt verder toe wanneer dat niet blijkt te werken. De vraag hoe iets dan wél radioactief gemaakt kan worden dringt zich aldus nadrukkelijk bij leerlingen op. Al doende ontdekken zij dat een geigerteller wel in de buurt van een appel gaat tikken als daarin kleine stukjes van een radioactief object worden verstopt. Hierdoor ontstaat het onderscheid tussen 'in de buurt van een radioactief object zijn geweest' en 'stukjes radioactieve stof op of in je hebben'. De docent reikt in aansluiting hierop de termen 'bestraling' en 'besmetting' aan. Deze begrippen worden vervolgens door leerlingen gebruikt om uit te leggen welke beschermingsmaatregelen in welke situaties adequaat zijn. Op deze manier komen leerlingen tot wat een macroscopische theorie van radioactiviteit genoemd kan worden. Gaandeweg leren de leerlingen door de voorbeeldsituaties meer over de effecten en toepassingen van radioactiviteit. In sommige toepassingen worden mensen bijvoorbeeld opzettelijk besmet voor diagnostische doeleinden. De vraag of dit niet gevaarlijk is (en in welke omstandigheden) vormt een motief voor een kwantitatieve uitbreiding van hun kennis. De macroscopische theorie beantwoordt vragen van leerlingen, maar roept ook nieuwe vragen bij ze op. Waarom zendt een bestraald voorwerp geen straling uit? Wat gebeurt er dan met die straling? Waarom is bestraald worden wél schadelijk? Wat is straling eigenlijk? Leerlingen krijgen vervolgens enkele hints waarmee ze hun theoretische problemen in microscopische termen kunnen proberen op te lossen. Bijvoorbeeld de hint dat straling niets anders is dan snel bewegende deeltjes. Kunnen ze hiermee verklaren dat een bestraald voorwerp wel schade ondervindt ten gevolge van straling, maar zelf geen stralingsgevaar vormt voor zijn omgeving? Om de theoretische problemen van leerlingen op een voor hen bevredigende manier af te handelen is een gedetailleerde behandeling van atoombouw overigens niet echt nodig.

Figuur 127 maakt de onderliggende structuur in deze aanpak, of 'story line', zichtbaar. De probleemstellende kern ligt in het feit dat, startend met een op te roepen *globaal* motief, zich een doorlopend proces ontvouwt van, in onderlinge afwisseling, te onderwijzen kennis en daaruit te ontwikkelen *lokale* motieven voor verdere kennisuitbreiding. Deze structuur begint op het niveau van de leefwereldkennis en ervaring van leerlingen. Het didactische probleem is dus om het voor leerlingen zinvol te maken om onderscheid te gaan maken tussen de begrippen radioactieve stof en radioactieve



Figuur 127. Een didactische structuur voor een probleemstellende introductie van radioactiviteit.

straling en tussen bestraling en besmetting. Hun leefwereldkennis wordt daartoe, binnen de gekozen context, productief gebruikt om te komen tot het formuleren van het praktische hoofdprobleem: 'hoe kun je iets radioactief maken?' Leerlingen komen tot deze vraag als blijkt dat hun verwachting niet uitkomt dat een appel die bestraald wordt (dat wil zeggen langdurig in de buurt wordt geplaatst van een voorwerp waarvan zij vinden dat dat radioactief is) daardoor, volgens een door henzelf geaccepteerd criterium, ook radioactief wordt³⁶⁶. Het bottom-up karakter van deze structuur wordt weerspiegeld in het feit dat de lessenserie niet start met theoretische kennis over atomen en kernen, zoals gebruikelijk is voor dit onderwerp (en er ook niet noodzakelijkerwijs mee eindigt), maar dat eerst een niveau ontwikkeld wordt van beschrijvende empirische generalisaties, dat zinvol bruikbaar is om de noodzakelijke begrippen te gaan onderscheiden. Zo wordt een netwerk van relaties ontwikkeld dat vervolgens 'begs to be explained', om Freudenthal te parafraseren. Maar de daarvoor noodzakelijke 'theoretische oriëntatie' ontstaat niet vanzelf. Ook die moet eerst worden ontwikkeld. De geschetste structuur houdt een radicale verandering in ten opzichte van de 'normale' didactiek. Duidelijk is dat hij sterk beïnvloed is door het drie-lagen schema van de WEI.

Transfer?

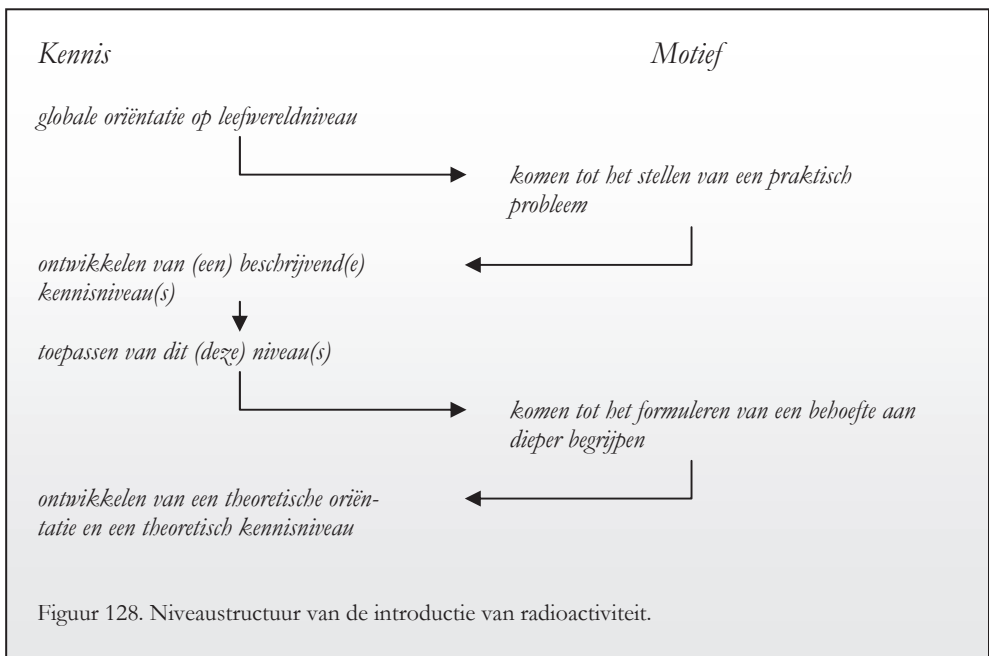
In de bovenstaande didactische structuur kunnen we ook de volgende *didactische functies* en *fasering* onderscheiden.

- Fase 1: oriënteren op en oproepen van een globale interesse en motief voor het bestuderen van het betreffende onderwerp.
- Fase 2: het, vanuit een praktische oriëntatie, inperken en toespitsen van dit globale motief tot een inhoudsspecifieke behoefte aan meer praktische kennis.
- Fase 3: het uitbreiden van de bestaande kennis van de leerlingen, in het licht van het globale motief en de specifiekere geformuleerde kennisbehoefte.
- Fase 4: het toepassen van de nieuwe kennis in situaties waarvoor de kennisuitbreiding bedoeld was.
- Fase 5: het creëren van een, in het licht van het globale motief, theoretische oriëntatie.
- Fase 6: het binnen deze oriëntatie ontwikkelen van meer theoretische kennis.

Merk op dat de fasen 2 en 5 kernpunten zijn in onze probleemstellende benadering. Deze fasen blijken dan ook niet aanwezig te zijn in soortgelijke faseringen (zie bijvoorbeeld de fasering in het CLIS-project, of de onderwijsfasen van Van Hiele). De daarin beschreven faseringen blijken uitsluitend gericht te zijn op cognitief leren, ook al wordt vaak uitgebreid geschreven over het belang van motivaties. Deze beschrijving roept de vraag op naar *transfer*. Is deze fasering algemener toepasbaar en wat kunnen we, inhoudelijk gezien, nog meer leren van zo'n onderwerpspecifieke didactische structuur? Om die vraag te beantwoorden hebben we te maken met de enigszins para-

³⁶⁶ Dit is dus een voorbeeld van wat ik eerder, ten aanzien van een cognitief conflict, een positieve didactische heuristiek noemde.

doxale situatie dat we juist moeten abstraheren van de inhoudsspecifieke aspecten van datgene wat met opzet als inhoudsspecifieke structuur wordt geformuleerd. In een poging essentiële karakteristieken ook in inhoudsonafhankelijke termen, dus als een algemenere didactische theorie, met bijbehorende *algemenere didactische structuur*, te formuleren. Daartoe kunnen we de structuur ook op de volgende, inhoudsonafhankelijke, manier beschrijven (figuur 128). Deze beschrijving focusteert op *kenmerken* van de te verwerven kennis, en op de daarvoor benodigde oriëntaties. In feite worden in figuur 128 weer drie ‘manieren van spreken over en ervaren van’ verschijnselen aangegeven, elk met zijn specifieke begrippen en bijbehorende verklaringwijze. De didactische uitdaging is om lerenden op een voor hen zinvolle wijze deze structuur te laten doorlopen, door hen het nut te laten ervaren van het gebruiken en ontwikkelen van nieuwe kennis, om daarmee tegemoet te kunnen komen aan nieuw ontstane verklaringsinteresses. Figuur 128 symboliseert ook de noodzaak van een grondige didactische conceptuele analyse, beginnend bij common-sense. Zo’n analyse kan slechts gedeeltelijk achter het bureau gedaan worden, omdat dikwijls niet precies kan worden voorzien welke begripsmatige stappen leerlingen wel of niet kunnen nemen. Daarom dient zo’n analyse dus aangevuld te worden met empirische reflectie op de feitelijk door leerlingen in de onderwijspraktijk gemaakte constructies.



Stel dat het bovenstaande enig hout snijdt, dan wordt de vraag dus nu in hoeverre de hier ontwikkelde gedachtegang ook bruikbaar is voor de ontwikkeling van onderwijs over andere onderwerpen. Alvorens verdere voorbeelden te bespreken, eerst nog een reflectie over het voorgaande. In de eerste plaats, denk ik, dat de structuur van figuur 128 inderdaad past bij alle empirisch onderwijsbare kennis. Analoge toepassing daar-

van zou er voor zorgen dat er steeds eerst een noodzakelijk netwerk van empirische relaties gevormd wordt, zodat er ook behoefte kan ontstaan aan theoretische verklaringen. Een opmerking die, via niveaureductie, ook kan worden uitgebreid tot hogere niveaus. Iets anders is dat, hoewel in deze structuren alleen sprake is van kennisontwikkeling, er feitelijk veel meer aan de hand is. Leerlingen worden betrokken in een gedisciplineerd proces van beargumenteerde kennisontwikkeling, waarin systematisch gebruik wordt gemaakt van een gezamenlijk afgesproken empirisch criterium. Dit is derhalve een prachtig voorbeeld van natuurkundig leren denken en redeneren, en draagt zo, voorbereidend maar impliciet, bij aan het ontstaan van een beeld over de 'nature of physics'. Omdat dit echter niet als expliciet onderwijsdoel was gesteld, wordt het ook niet in de didactische structuur geëxpliciteerd, zoals in volgende voorbeelden.

11.2.2 De introductie van een aanvankelijk deeltjesmodel

Een tweede voorbeeld van een ontworpen en geteste didactische structuur wordt ontleend aan het werk van Vollebregt³⁶⁷. Zij ontwierp een probleemstellende benadering voor de introductie van een aanvankelijk deeltjesmodel³⁶⁷. Deze structuur begint met de ontwikkeling van een *theoretische* oriëntatie, met daarna de ontwikkeling van theoretische kennis, gericht op het bekende probleem om kennis over macroscopische eigenschappen van materie te kunnen verklaren in termen van een submicroscopisch model, op een voor leerlingen betekenisvolle en begrijpelijke wijze. Zoals beschreven komt dit neer op een moeilijke didactische uitdaging.

Het oproepen van een theoretische oriëntatie

Daarvoor is nodig dat bij de leerlingen een theoretische instelling wordt opgeroepen, dat wil zeggen dat zij bereid worden om mee te gaan in een proces van het zoeken naar een diepere verklaring van verschijnselen, *als doel op zich*. Daarvoor liet Vollebregt leerlingen reflecteren op de eerdere voortgang in hun natuurkundige kennis. In het bijzonder worden gevallen naar voren gehaald waarbij die voortgang geboekt wordt op een voor leerlingen helder te maken wijze. Enerzijds door bij reeds gevonden wetmatigheden de vraag te stellen waarom die zijn zoals ze zijn, om zo tot steeds algemenere regelmatigheden te komen (bijvoorbeeld een voortgang van 'hout drijft op water', 'staal drijft op kwik', etc., naar 'iets van lagere dichtheid drijft op iets van hogere dichtheid'). En anderzijds door, in analogie, het gedrag van iets te vergelijken met dat van iets anders (door bijvoorbeeld een model voor luchtdruk op te stellen dat geïnspireerd is door een reeds beproefd model van waterdruk)³⁶⁸. Vervolgens worden zij

³⁶⁷ Nadere details over deze lessenserie zijn ook te vinden op: <http://www.ecent.nl/artikel/1551/probleemstellend+onderwijs+over+een+deeltjesmodel/view.do>

M.J. Vollebregt, C.W.J.M. Klaassen, R. Genseberger & P.L. Lijnse (1999). Inzichtelijk een deeltjesmodel leren. *TD-β,16*, 12-26.

³⁶⁸ In dit en andere voorbeelden komt duidelijk naar voren hoe op deze manier wel heel expliciet gewerkt wordt aan (onder andere) de eindterm uit subdomein A2.4. Redeneren: 'De kandidaat kan met gegevens van wiskundige en natuurwetenschappelijke aard consistente redeneringen opzetten van zowel inductief als deductief karakter.' (NINA-syllabus, werkversie 2).

gericht op hen bekend wetmatig gedrag van gassen en bedenken ze hieromtrent vragen die nog onbeantwoord zijn gebleven (bijvoorbeeld waarom een gas naar alle kanten druk uitoefent). Daarop introduceert de docent, in analogie, een simpel basismodel. Zouden we die vragen kunnen beantwoorden wanneer we ons voorstellen dat een gas zich net zo gedraagt als een collectie kriskras door elkaar bewegende bolletjes? Om twee redenen wordt begonnen met wetmatig gedrag van gassen. De eerste is dat het te introduceren basismodel direct plausibel is voor het beter begrijpen van door gassen uitgeoefende druk: de bewegende deeltjes botsen tegen wanden, hetgeen op macroscopisch niveau voelbaar is als druk. De tweede reden is dat aldus impliciet voorbereid wordt dat de geïntroduceerde deeltjes zich anders gedragen dan een macroscopische hoeveelheid. Ter verklaring van bijvoorbeeld diffusie van vloeistoffen of vaste stoffen is een model van bewegende deeltjes weliswaar ook direct plausibel, maar in dat geval gedragen de deeltjes zich feitelijk niet anders dan de macroscopische hoeveelheid stof (beide verplaatsen zich). Bij gassen is het daarentegen zo dat die ook druk uitoefenen wanneer er geen macroscopische verplaatsing is, dat wil zeggen wanneer er geen stroming is. Op deze manier mogen we verwachten dat leerlingen kunnen begrijpen waarom het zinvol is om dieper naar het gedrag van gassen te gaan kijken, en dat ze direct in kunnen zien dat een door de docent geïntroduceerd model van bewegende deeltjes daarbij goed van pas kan komen. Leerlingen hoeven hierdoor vanzelfsprekend nog niet heel erg gemotiveerd te raken om allerlei bekend gedrag van materie beter te gaan begrijpen, maar gaandeweg kan het hen wel gaan intrigeren dat het aldus steeds lukt om tot beter begrip te komen³⁶⁷.

Omdat het hier gaat om een cruciaal element in de hele opzet, en het op deze manier oproepen van een theoretische oriëntatie niet echt geslaagd bleek, wil ik er hier even bij stilstaan. Wat eraan schort is dat de manier waarop gepoogd wordt een theoretische oriëntatie op te roepen, niet echt een inhoudelijke oriëntatie biedt op het te introduceren basismodel. Om een theoretische oriëntatie op te roepen die wel inhoudelijk richting geeft, zien wij ondertussen een alternatieve aanpak, die echter nog niet uitgetest is. Het lijkt ons dat we leerlingen een meer inhoudelijk motief kunnen verschaffen voor het te introduceren basismodel, door te appelleren aan de volgende twee basale intuïties met betrekking tot hun (en onze) kennis over macroscopische systemen:

- Een grond waarop een wetmatigheid in het gedrag van bepaalde materie (bijvoorbeeld koper is een geleider) onderscheiden wordt van een toevallige regelmatigheid (bijvoorbeeld alle munten in zijn portemonnee zijn van koper), is een vermoeden dat de wetmatigheid dieper verklaard kan worden, dat er iets in de aard van die materie is dat maakt dat het zich op die wetmatige manier gedraagt.
- Het functioneren van een macroscopisch systeem (organisme; elektrisch apparaat) kan vaak verklaard worden in termen van het functioneren van samenstellende deelsystemen (organen; weerstanden, condensatoren), waarbij die samenstellende delen zich wezenlijk anders kunnen gedragen dan het systeem als geheel.

De combinatie van deze twee ingrediënten lijkt ons een zoektocht te kunnen motiveren naar een verklaring van het wetmatige gedrag van materie in termen van het gedrag van de samenstellende delen ervan, of ook: naar een verklaring van hoe materie

werkt in termen van wat materie eigenlijk is. Dat de samenstellende delen zich anders gedragen dan het geheel, bereidt daarbij voor dat die samenstellende delen geen macrodeeltjes zijn. Overigens zou hierbij ook geappelleerd kunnen worden aan de historische optiek van ‘zijn en worden’. Hoe kunnen in onze onveranderlijke wereld, veranderingen worden verklaard, waarbij (grootschalige) kringlopen indringend kunnen illustreren dat het kennelijk in de aard van veranderingen zit dat er ook iets behouden blijft. Je mag uiteraard niet van leerlingen verwachten dat ze zelf deze filosofische vraagstelling à la Democritus kunnen beantwoorden, maar op de juiste manier ingebracht door de docent kan hij wel tot verdieping en stabilisatie van de op te roepen theoretische oriëntatie leiden.

Hoe dit ook precies zij, in ieder geval kozen wij ervoor dat vervolgens de docent een kiem voor de ontwikkeling van een deeltjesmodel introduceert, door een mogelijke analogie te poneren tussen het gedrag van gassen en het gedrag van bewegende bolletjes³⁶⁹. Dit wijkt sterk af van, bijvoorbeeld, de CLISP-aanpak, juist om te voorkomen dat het intuïtieve denken in termen van ‘brokjes’ versterkt gaat worden.

Een deeltjesverklaring geven

Voordat we verder op de ontwikkeling van het model ingaan is het misschien goed eerst even stil te staan bij wat de kenmerken zijn van een verklaring in termen van klassieke deeltjes. Vollebregt²⁰³ omschrijft dit als volgt: “*This framework [van figuur 129] seems useful to teach pupils what giving a particle explanation consists in. Filling in this scheme can illustrate how a macroscopic object is linked to a collection of invariant particles and that any change of this object is linked solely to a variation in position and movement of these particles, due to their interactions. It also clearly shows that there are two kinds of hypotheses involved in the use of particle models, namely those concerning the behaviour of the particles and those concerning the correspondence between the model and the macroscopic system. Concerning the further development of such models, the*

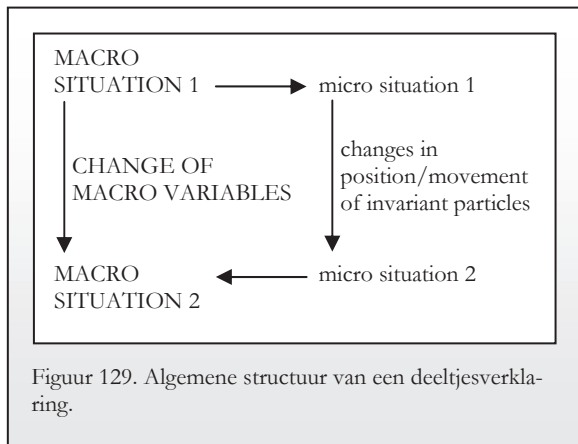
³⁶⁹ In de structuur is nu de vraag aan de orde hoe je het gedrag van gassen zodanig kunt problematiseren dat er een noodzaak ontstaat voor, c.q. een behoefte aan, deeltjes. Naar mijn oordeel kan dit niet door nog meer inhoudelijke vragen te stellen, bijvoorbeeld over het gedrag van gassen in nieuwe situaties. Dit soort vragen kan immers altijd beantwoord worden door nog meer beschrijvende kennis van het gedrag van gassen. Op die manier kun je geen behoefte aan deeltjes creëren. Daarvoor is immers nodig dat je op een kwalitatief andere manier naar hetzelfde gaat kijken. Dus niet ‘hoe gedraagt gas zich’, maar ‘waarom gedraagt het zich zoals het zich gedraagt’. Het stellen van zo’n ‘waarom-vraag’ bereidt voor dat je uit het niveau stapt waarop je tot dan toe gewend bent te denken. Maar dan moet daarvoor dus wel een aanleiding zijn. Die aanleiding zal voor leerlingen zelf niet gemakkelijk ontstaan, omdat voor hen dat niveau voldoet. Het geeft antwoord op hun vragen (voor zover ze die hebben). Het is dus de taak van de docent om niet alleen de nieuwsgierigheid op te roepen van waaruit de waarom-vraag kan ontstaan, maar ook om deze vast te houden en te leiden tot het stellen van een ‘is-vraag’ (wat *is* een gas eigenlijk?). Anders zal ook de waarom-vraag, als je nog geen idee hebt over wat er nog meer over te zeggen valt, nog op hetzelfde niveau beantwoord worden, namelijk gassen gedragen zich nu eenmaal zo omdat ze gas zijn. Pas door de is-vraag te stellen wordt je gedwongen daar bij stil te staan. Maar dan doet zich een nieuw probleem voor. Het deeltjesbegrip dat we nodig hebben, houdt in dat deeltjes essentieel iets anders zijn dan ‘kleine brokjes’. Je mag echter niet van leerlingen verwachten dat zij überhaupt iets anders *kunnen* zeggen dan dat. En dat lijkt geen vruchtbaar uitgangspunt om te komen tot échte deeltjes. We hebben hier dus een moment geïdentificeerd waarop het essentieel is dat de docent zelf de kern van een verder te ontwikkelen hypothetisch deeltjesmodel introduceert. Een kern die enerzijds hanteerbaar moet zijn voor leerlingen, en anderzijds productief moet kunnen worden uitgebouwd.

framework gives a fair idea of the boundaries within which hypotheses can be formulated and of the ways in which these can be evaluated. This framework can therefore be used as means to teach about the hypothetical nature of particle models. Furthermore, if pupils come to appreciate that the particles of this model are invariant and only change in position and movement, these particles clearly differ from tiny bits.”

De ontwikkeling van een deeltjesmodel...

Wanneer we willen bereiken dat leerlingen de modelkiem verder uitbouwen, dan moeten motieven worden opgeroepen voor het stellen van verdere hypothesen. Op basis van de literatuur mag verwacht worden dat met name hypothesen met betrekking tot het onveranderlijk zijn van deeltjes, het voortdurend bewegen van deeltjes (ook van de deeltjes van vaste stoffen), en het bestaan van lege ruimte tussen de deeltjes, voor leerlingen problematisch kunnen zijn. Een goede reden om aan te nemen dat er lege ruimte tussen de deeltjes is (en dat de deeltjes elastisch botsen), ligt besloten in de hypothese dat de deeltjes voortdurend bewegen. Dat laatste is immers alleen mogelijk, wanneer er netto geen beweging verloren gaat door bijvoorbeeld wrijving met een substraat waar de deeltjes doorheen zouden moeten bewegen, of door onderlinge botsingen.

Aangezien lege ruimte en volkomen elastische botsingen in de macroscopische wereld geen alledaagse zaken zijn, kan de stap naar dergelijke aannamen voor leerlingen pas echt plausibel worden wanneer de deeltjes reeds wezenlijk verschillen van macrodeeltjes. Ofwel, de twee onderscheidende aspecten van invariantie en voortdurende beweging (in hun samenhang) moeten voor hen al zinvol zijn geworden. Zowel bij de ontwikkeling van het basismodel van bewegende deeltjes tot een model waarbij ook de invariantie van de deeltjes een plausibel aspect is, als ter voorbereiding op de aanname dat ook de deeltjes van vloeistoffen en zelfs van vaste stoffen voortdurend bewegen, is een belangrijke rol weggelegd voor de relatie tussen de temperatuur van een hoeveelheid gas en de gemiddelde kinetische energie van de deeltjes. In plaats van deze relatie, zullen leerlingen in eerste instantie geneigd zijn aan deeltjes een temperatuur toe te kennen die correspondeert met de macroscopische temperatuur van het gas. We willen leerlingen dus goede redenen laten ontwikkelen om af te gaan zien van deze relatie, en zelfs om helemaal af te gaan zien van het toekennen van een temperatuur aan deeltjes. Hiertoe worden activiteiten aangeboden die hen stimuleren om verklaringen te genereren voor drukverhoging tijdens temperatuurstijging en voor warmte-transport, waarbij eerst duidelijk moet worden dat drukverhoging tijdens temperatuurstijging beter verklaard wordt door aan te nemen dat de deeltjes sneller gaan bewegen, dan door aan te nemen dat de deeltjes bijvoorbeeld van massa of volume veranderen.



Figuur 129. Algemene structuur van een deeltjesverklaring.

Waarna zich de vraag opdringt hoe de deeltjes dan sneller kunnen gaan bewegen: een temperatuurstijging op macroscopisch niveau vindt plaats via warmtetransport, maar wat gebeurt er op modelniveau dat zou kunnen verklaren dat de deeltjes sneller gaan bewegen?

Deze laatste vraag nu, kan op twee manieren begrepen worden, afhankelijk van wat op modelniveau aan de macroscopische temperatuur van het gas gekoppeld wordt: de temperatuur van de deeltjes of hun snelheid/kinetische energie. In het eerste geval wordt in feite gevraagd naar een mechanisme waarmee begrepen kan worden hoe warmer wordende deeltjes sneller gaan bewegen. In het tweede geval luidt de vraag: met welk mechanisme op het niveau van het model moeten we een macroscopisch verhittingsproces vergelijken, opdat als gevolg van dat mechanisme de gemiddelde snelheid van de deeltjes groter wordt? Op deze laatste vraag is een betrekkelijk eenvoudig antwoord te vinden in termen van impulsoverdracht, terwijl op de eerste vraag geen eenvoudig en plausibel antwoord gevonden kan worden. Via reflectie op de diverse hypothesen en verklaringen die leerlingen in dit proces opstellen, en op de afwegingen en keuzes die ze daarbij gemaakt hebben, wordt het vervolgens mogelijk expliciet te maken dat er a) goede redenen zijn om een verklaring van een macroscopisch verwarmingsproces in termen van deeltjes die zelf niet warmer of kouder worden te prefereren boven een verklaring waarin het toekennen van een temperatuur aan deeltjes een wezenlijke rol speelt, en b) dat in alle tot dan toe gegeven verklaringen met het model de deeltjes zelf in feite steeds onveranderlijk zijn gebleven.

Bovendien kan dan een eerste begin gemaakt worden met een expliciete bespreking van de vraag in hoeverre invariantie een zinvolle aanname is, en welke eigenschappen nu wel en niet aan deeltjes toegekend moeten worden. We mogen verwachten dat leerlingen op deze manier ook voldoende voorbereid worden om de stap te zetten naar het verklaren van bekend gedrag van vaste stoffen en vloeistoffen in termen van onveranderlijke, voortdurend bewegende deeltjes. De meest voor de hand liggende manier om die stap te maken is via warmtetransport (als zijnde het doorgeven van beweging) en faseveranderingen (die nu beschreven kunnen worden als veranderingen in een typische configuratie en bewegingstoestand van een systeem van onveranderlijke deeltjes).

... waaraan leerlingen actief deelnemen

Op deze manier worden leerlingen actief betrokken bij het modelleerproces. Zij worden niet alleen in de gelegenheid gesteld om zelf een deel van het model te ontwerpen, maar er wordt ook naar gestreefd hen daadwerkelijk in staat te stellen om te beoordelen in hoeverre nieuwe hypothesen zinvol en productief zijn. Hiertoe wordt in de beginfase ruim aandacht besteed aan het doel waarvoor het model ingevoerd en verder ontwikkeld wordt. Tevens worden leerlingen gestimuleerd om soms meerdere hypothesen te genereren en met elkaar te vergelijken en worden zij ertoe aangezet om expliciet te reflecteren op de aard van de deeltjes. Naast deze actieve en bewuste betrokkenheid in het modelleerproces, zijn er in onze aanpak nog enkele andere aandachtspunten opgenomen met betrekking tot de aard van het model. Zo wordt er meer expliciet stilgestaan bij de relaties tussen het model en macroscopische grootheden. Naast de relatie tussen de temperatuur van een object en de kinetische energie

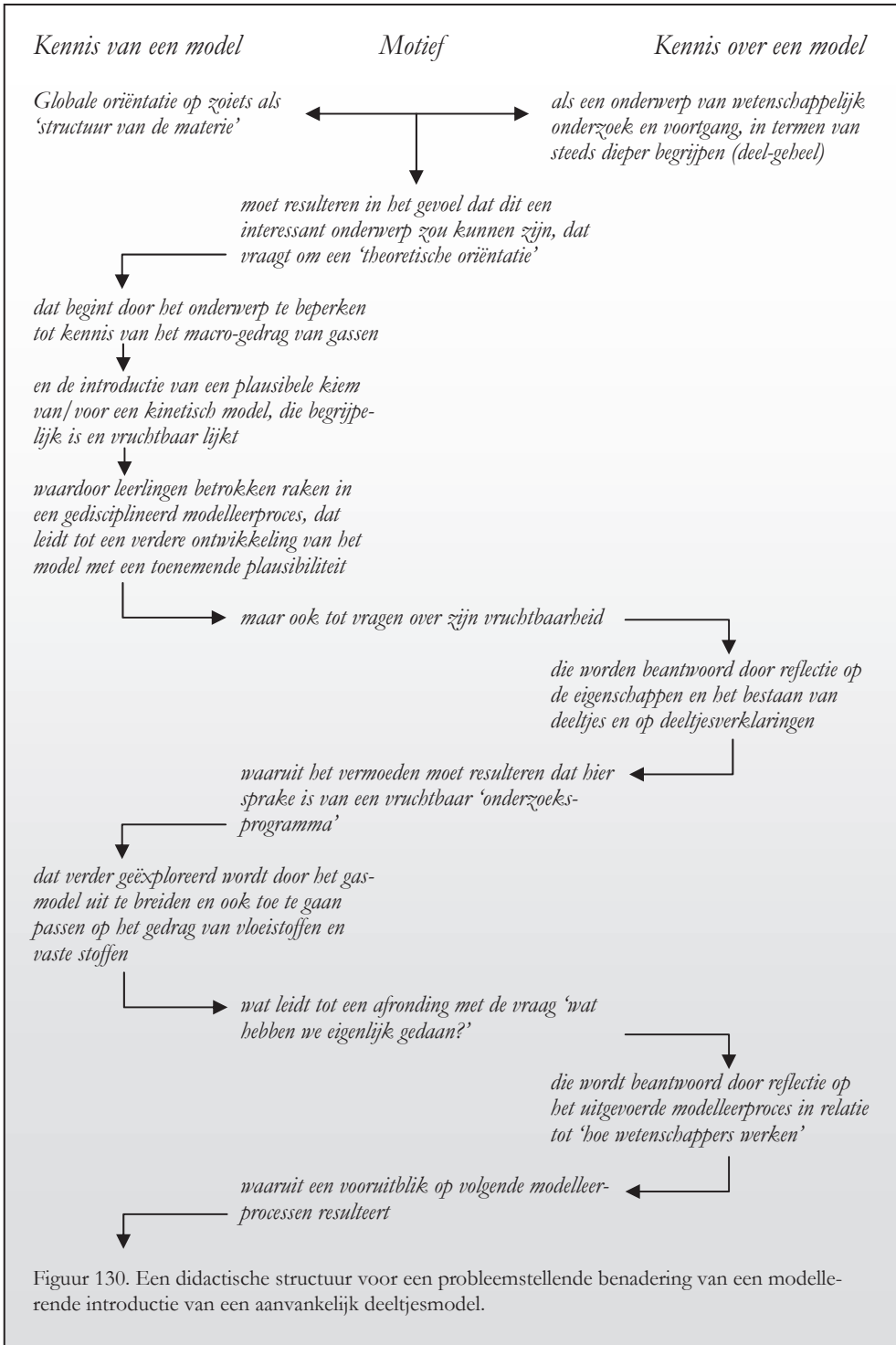
van de deeltjes worden ook meer voor de hand liggende relaties, zoals die tussen de hoeveelheid stof en het aantal deeltjes, expliciet verwoord. Later wordt hierop gereflecteerd om na te gaan hoe het geven van een verklaring met een deeltjesmodel in zijn werk gaat. Bovendien wordt het bestaan van de deeltjes bij de introductie van het basismodel in het midden gelaten (de introductie ging immers in vergelijkende zin: stel je eens voor dat een gas zich net zo gedraagt als een collectie bewegende bolletjes), zodat hierover enige onzekerheid blijft bestaan. Later wordt het, via reflectie op het nut van het model, interessant om na te denken over de mate van geloof in het bestaan van de deeltjes en over de vraag door welke ervaringen die mate van zekerheid wordt bepaald. In een later stadium moet het tevens mogelijk zijn om leerlingen te laten reflecteren op het modelleringsproces zelf.

Werkt het ook?

In vergelijking met de eerder besproken resultaten uit de literatuur, lijken de leerlingen in deze benadering een model te ontwikkelen waarin de deeltjes minder overeenkomsten vertonen met macrodeeltjes. Verder lijken ze een beter, alhoewel nog steeds niet erg expliciet, beeld te hebben van de aard van deeltjesmodellen. Wat betreft de inhoud van het ten doel gestelde model, bleek de aanname van volkomen elastische botsingen voor leerlingen veel moeilijker te accepteren dan verwacht, terwijl de hypothese van lege ruimte tussen de deeltjes juist gemakkelijker werd geaccepteerd. Vooral de combinatie van elastische botsingen en onderlinge krachten bleek voor veel begripsproblemen te zorgen (vooral ten gevolge van ontbrekende mechaniekennis). Daarnaast vertoonden de uiteindelijke modellen van de leerlingen nog een te sterke relatie tussen de snelheid van de deeltjes enerzijds, en de drie aggregatietoestanden, in plaats van de temperatuur, anderzijds. Wat betreft de aard van deeltjesmodellen en de manier waarop die tot stand komen, konden alle leerlingen aangeven voor welk doel zij het model hadden gebruikt en ontwikkeld: verschijnselen (gemakkelijker) verklaren, (meer) verschijnselen begrijpen, (beter) voorstellen hoe verschijnselen verlopen, of (gemakkelijker) problemen oplossen. Veel leerlingen gaven tevens aan dat zij daarbij voornamelijk de plaats en beweging van de deeltjes in beschouwing namen. Ook konden alle leerlingen uitleggen waarom zij bepaalde aannames wel of niet in het model hadden opgenomen. Bijna alle leerlingen verwachtten dat het model in de toekomst verder ontwikkeld zou moeten worden, maar slechts enkelen van hen konden in algemene zin uitleggen wat zo’n verdere ontwikkeling zoal in gang zou kunnen zetten en houden. Zowel op het bestaan van de deeltjes als op het geven van deeltjesverklaringen konden leerlingen goed reflecteren, maar dan alleen in specifieke gevallen. Het lukte hen nog niet om in meer algemene termen uit te leggen waardoor hun mate van zekerheid werd beïnvloed of hoe verklaringen met een deeltjesmodel gegeven worden. Concluderend kunnen we stellen dat, in termen van Grosslight’s²⁰⁴ ‘level 3 understanding’, dit doel ruwweg bereikt is.

Reflectie op de didactische structuur

Figuur 130 geeft een, enigszins geïdealiseerde, samenvatting van de didactische structuur van het hiervoor beschreven onderwijsleerproces. Deze structuur is in het bijzonder interessant omdat het nu gaat om twee gekoppelde leerprocessen, die elkaar als



Figuur 130. Een didactische structuur voor een probleemstellende benadering van een modellerende introductie van een aanvankelijk deeltjesmodel.

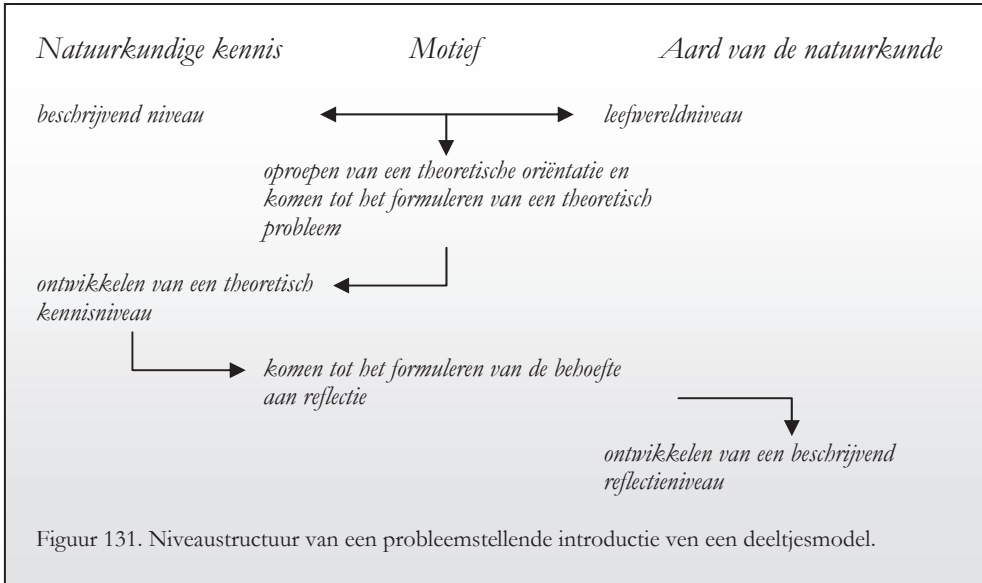
het ware aandrijven. Het eerste proces gaat over het leren van een deeltjesmodel en het tweede gaat over de aard van natuurwetenschap, in het bijzonder over de *aard van een deeltjesmodel*. Dit geeft aan dat we bij het ontwikkelen van deze lessenserie twee doelen in gedachten hadden, namelijk zowel het leren *van* een deeltjesmodel als het leren *over* een deeltjesmodel³⁷⁰. De achterliggende gedachte hierbij was dat je de inhoud van een bepaald model eigenlijk alleen goed kunt begrijpen als je ook weet hoe en waarom dat model aan welke eisen dient te voldoen. En de beste manier om zowel de inhoud, als reflectie op die inhoud van het model te leren, lijkt dan, gegeven onze uitgangspunten, om de leerlingen dit model zoveel mogelijk al zelf modellerende te laten ontwerpen, toetsen en bijstellen. Het blijkt dan dat vragen over de inhoud, en vragen over de aard van de ontwikkelde inhoud, motieven kunnen gaan vormen die elkaar op productieve wijze kunnen afwisselen. Deze onderlinge afhankelijkheid van beide leerprocessen was trouwens niet in detail geanticipeerd, maar bleek achteraf zo gestructureerd te zijn. Naar ons idee is dit een belangrijke opbrengst, omdat dit een natuurlijke manier zou kunnen inhouden waarop onderwijs *over* (de aard van) natuurwetenschappen kan worden geïntegreerd in onderwijs *van* natuurwetenschappen. En wel zodanig dat dit eerste niet langer alleen maar een wat vreemde toevoeging aan het laatste lijkt te zijn. Een ander aspect dat uit deze structuur naar voren komt is dat ideeën over ‘conceptual change’, of over het gebruik van analogieën, waarover veel en zwaarwichtig geschreven is, weliswaar door ons niet als zodanig zijn toegepast, maar desalniettemin wel grotendeels op natuurlijke wijze aanwezig bleken te zijn in ons onderwijstraject. In retrospectie is ook dit eigenlijk vanzelfsprekend. Immers, een probleemstellende benadering is er op gericht leerlingen inhoudelijke motieven te geven voor het ontwikkelen van hun kennis. Dat betekent dat zaken als ‘intelligibility’, ‘plausibility’ en ‘fruitfulness’, dat wil zeggen de status-descriptors in ‘conceptual change’, niet alleen vanzelf aan bod komen, maar ook op een door de inhoudelijke voortgang gegeven natuurlijke wijze. Opnieuw doet zich, ten slotte, de vraag voor naar transfer, en dus naar een onderwerpsonafhankelijke structuur.

Transfer?

Daarvoor kunnen we nu, in termen van een niveaustructuur, het schema van figuur 131 opstellen. Opnieuw, deze niveaustructuur is niet gebruikt als een a-priori instrument bij het ontwikkelen van de lessenserie, zodat deze beschrijving tevens een reflectie en aanvulling daarop inhoudt. Bovendien geeft de ontwikkelde lessenserie slechts een eerste begin voor het vullen van de beschreven niveaus, het gaat immers om een aanvankelijk deeltjesmodel. In verdere lessenseries moet dit verder uitgebreid worden. Laat ik kort aangeven wat met de aangegeven niveaus bedoeld wordt. In deze lessenserie vindt kennisontwikkeling plaats binnen een theoretische context, die echter, door het oproepen van een theoretische oriëntatie, voor leerlingen eerst dient te ontstaan. Als uitgangspunt daarvoor is gekozen voor een beschrijvend kennisniveau ten aanzien van het macroscopisch gedrag van gassen, dat, vanuit het idee dat je in de natuurkun-

³⁷⁰ Deze structuur bestaat daarom uit drie kolommen, terwijl de voorgaande er slechts twee had. Omdat we hier twee hoofddoelen nastreven, zijn er ook twee onderwijsleerprocessen te onderscheiden, die weliswaar functioneel gekoppeld zijn, maar ook ieder hun eigen voortgang hebben.

de door voortdurend ‘hoe-komt-dat-nou?’-vragen te stellen steeds meer steeds dieper wilt begrijpen, geproblematiseerd kan worden. Dat idee zou je een nog vage en ongedifferentieerde verwoording van een ‘leefwereldniveau’ ten aanzien van de aard van natuurkunde kunnen noemen dat hier productief gebruikt kan worden, tezamen met het vanzelfsprekende idee dat je de werking van dingen vaak beter kunt begrijpen als je kijkt naar waaruit ze zijn opgebouwd.



Door vervolgens een door de docent geïntroduceerde modelkiem geleidelijk uit te breiden met eigenschappen, komen leerlingen tot inzicht in dit model. Daarbij stellen ze echter wel de vraag of wat ze zo doen wel klopt met het ‘goede’ antwoord, wat de mogelijkheid biedt om te komen tot inzicht in de vraag op grond waarvan en in hoeverre we in de natuurkunde eigenlijk een model accepteren, aan welke regels dat modelleren moet voldoen, en in hoeverre je nu kunt zeggen dat de gepostuleerde deeltjes dan ook echt bestaan. Dus zowel de epistemologie, methodologie als ontologie krijgen hierbij aandacht. Dat zou je een beschrijvend niveau ‘aard van de natuurkunde/modellen’ kunnen noemen. Beschrijvend, omdat leerlingen in reflectie op de door hun gevolgde procedure wel kunnen komen tot het expliciteren van een aantal ‘spelregels’, maar nog niet, vanuit een onderliggende wetenschapsopvatting, kunnen beredeneren waarom deze regels moeten zijn zoals ze zijn.

Net als in figuur 127 kunnen we ook in figuur 130 een didactische fasering onderscheiden:

- Fase 1: oriënteren op en oproepen van een globale interesse en globaal motief voor het bestuderen van het betreffende onderwerp.
- Fase 2: het inperken en toespitsen van dit globale motief tot een inhoudsspecifieke behoefte aan meer theoretische kennis.

- Fase 3: het uitbreiden van de bestaande kennis van de leerlingen in een nog beperkte context, in het licht van het globale motief en de geformuleerde kennisbehoefte, uiteindelijk leidend tot de behoefte om op de zinvolheid van de verworven kennis te reflecteren.
- Fase 4: reflectie op de zin van de verworven kennis, in het licht van het globale motief, resulterend in het vermoeden dat een vruchtbare uitbreiding mogelijk is.
- Fase 5: toepassing, uitbreiding en bijstelling van de tot nu toe ontwikkelde kennis door het toepassingsbereik te verbreden, wat uiteindelijk leidt tot de behoefte om op de manier van kennisverwerving te reflecteren.
- Fase 6: reflectie op de manier van kennisverwerving, in relatie tot de aard van het globale motief, waardoor ook een perspectief ontstaat voor verder modelleren.

Ik laat het nu bij de constatering dat het opnieuw mogelijk is om een fasering aan te geven die laat zien dat er verschillende didactische functies kunnen worden onderscheiden. De vraag is natuurlijk in hoeverre deze fasering ook generaliseerbaar is naar onderwijs met overeenkomstige doelen, en dus bruikbaar voor onderwijsontwikkeling.

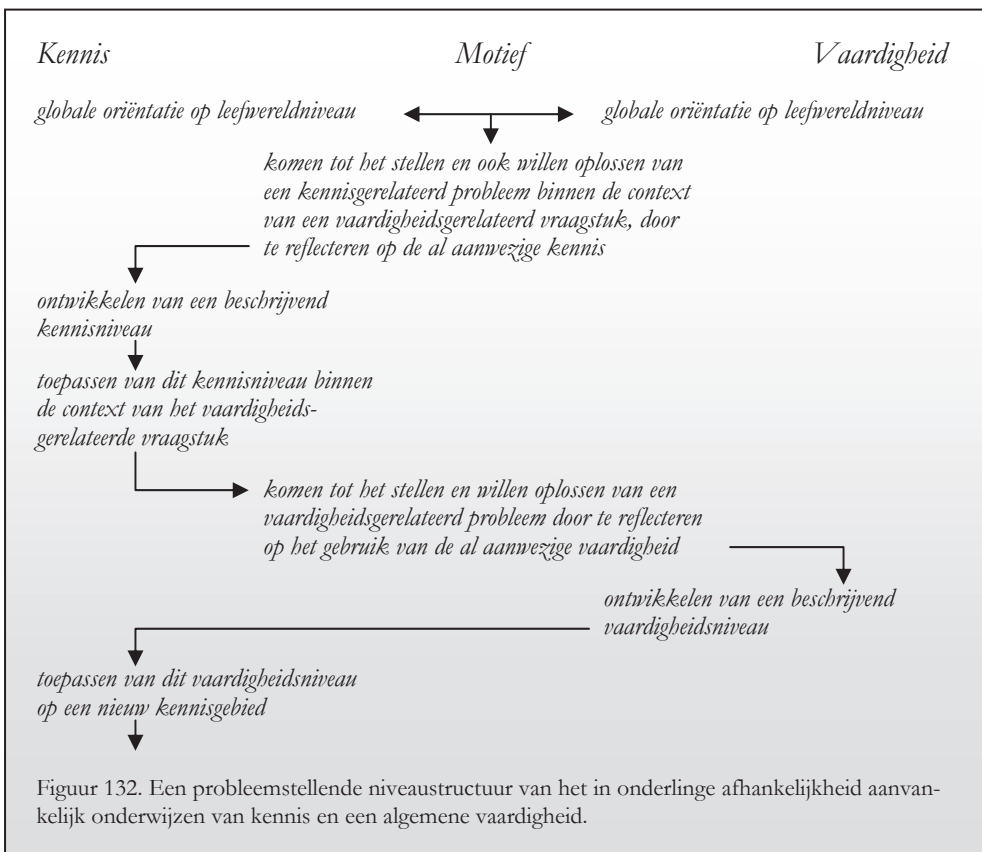
11.2.3 Onderwijzen van (besluitvormings)vaardigheden

Een ander didactisch probleem dat nog steeds om meer aandacht vraagt is het onderwijzen/leren van wat ‘algemene’ vaardigheden wordt genoemd, zoals probleemoplossen, onderzoeken, informatie verwerken, modelleren, etc. De crux van het probleem bestaat uit de vraag wat het precies betekent als men deze vaardigheden wil onderwijzen. Hoeven ze eigenlijk wel onderwezen te worden en, mocht dat zo zijn, hoe kunnen we dat dan het beste doen. In het bijzonder, hoe verhoudt zich dat dan tot het onderwijzen van vakinhoud.

In de paragraaf over metacognitie hebben we een didactische structuur (figuur 125) besproken voor het onderwijzen van besluitvormingsvaardigheden in de context van keuzen van verpakkingen van huishoudelijke producten. Alhoewel toen de term niet gebruikt is, was ook dat onderwijsproces probleemstellend van karakter. We zagen daarin opnieuw de ontwikkeling van twee gekoppelde leerprocessen weergegeven, die elkaar motiveren en aandrijven. Het ene leerproces was gericht op nieuwe natuurwetenschappelijke kennis over afval, het andere op de inzichtelijke ontwikkeling van een metacognitief ‘instrument’ waarmee men kan nadenken over de vraag of men wel een verstandig besluit heeft genomen. Inhoudelijk zal ik daar nu niet meer verder op ingaan, maar me beperken tot de vraag naar transfer en generaliseerbaarheid. Het antwoord daarop wordt, om te beginnen, weergegeven door de niveauctuur van figuur 132. Daarin is ook nu weer een didactische fasering te onderscheiden, die voor de eerste vier fasen identiek is aan die hiervoor geformuleerd naar aanleiding van het onderzoek van Klaassen. Daarna laten de volgende fasen zich als volgt omschrijven:

- Fase 5: het in het licht van het globale motief creëren van een behoefte aan reflectie op het kunnen hanteren van de betreffende vaardigheid.
- Fase 6: het ontwikkelen van een (mogelijk nog gecontextualiseerd) metacognitief instrument voor het op een hoger niveau kunnen uitvoeren van de vaardigheid.

Het gaat dus in dit geval weer om twee gekoppelde onderwijsleerprocessen, zij het dat de relatie tussen beide nu van geheel andere aard is dan in het voorgaande. Omdat het resulterende heuristische instrument wel de stappen beschrijft in wat beschouwd zou kunnen worden als een besluitvormingsproces van goede kwaliteit, zonder dit proces als zodanig theoretisch te rechtvaardigen, kunnen we dit niveau van (reflectie op) besluitvorming een beschrijvend vaardigheidsniveau noemen. Zoals beschreven door Kortland zou een soortgelijke aanpak ook geschikt kunnen zijn voor de aanvankelijke introductie van andere algemene vaardigheden, zoals leren probleemoplossen, leren modelleren, leren onderzoeken, etc. Zoals al gezegd, het belangrijke punt hierbij is dat daarvoor bruikbare heuristieken (als metacognitief instrument) nu in reflectie op de eigen ervaringen van leerlingen, in het bijzonder op een door hun als problematisch ervaren situatie, kunnen worden geëxpliciteerd en uitgebreid.



11.2.4 Een introductie tot de mechanica

In een laatste voorbeeld wordt geprobeerd de analyse van het eerder beschreven algemene verklaringsschema van bewegingen (paragraaf 8.4.2.2) productief te maken in aanvankelijk mechanicaonderwijs. Op zich een gedurfde aanpak, die het eerst is uitge-

werkt door Westra³⁷¹, zij het niet zonder problemen. Kern in de aanpak was steeds hoe je het voor leerlingen zinvol maakt dit verklaringsschema te expliciteren en te gaan gebruiken. Het vergt een diepgaande interesse om te willen gaan nadenken over zaken die in eerste instantie eigenlijk vanzelfsprekend lijken. Ofwel, het vraagt om een op te roepen ‘theoretische instelling’ ten aanzien van de mechanica, dat wil zeggen gemotiveerd zijn om te gaan nadenken over het verklaren van bewegingen als doel op zich. Gekozen werd voor een introductiecursus, voorafgaand aan de reguliere behandeling van de mechanica, om daarin een fundament te leggen voor bewegingsverklaring, die in de normale lessen zijn vruchten zou moeten afwerpen. Daarnaast werd gekozen om, als het schema, zoveel mogelijk op grond van eigen intuïties, eenmaal ‘in statu nascendi’ was opgeroepen, dit verder uit te werken in de hemelmechanica à la Kepler en Newton. Als het daarin zijn bruikbaarheid heeft bewezen, kan vervolgens de stap gemaakt worden naar aardse bewegingen, om die met een iets andere Newtoniaanse invulling van hetzelfde schema te gaan beschrijven. Op zich een interessante benadering, die echter in de uitwerking nog onderhevig bleek aan allerlei onvermoede kinderziekten. Op grond van de zo opgedane ervaring heeft Klaassen³⁷² vervolgens een sterk gewijzigde en verbeterde versie ontworpen van een introductiecursus voor hetzelfde doel. Figuur 133 geeft in enig detail (mijn interpretatie van) de ‘story line’, of didactische structuur, weer van deze cursus. In deze structuur heb ik geprobeerd onderscheid te maken tussen de algemene aspecten van het verklaren van bewegingen, en het toepassen van eenmaal gemaakte aannamen, c.q. theorieën, voor de ‘berekening’ van actuele bewegingen.

De ervaringen in de klas leidden tot de volgende conclusies³⁷³: “*Our course has been tried out three times by two teachers during the period 2005-2008. On the whole, both students and teachers were well satisfied with our approach, but there were also some problems. Students, for example, are not keen to spend time learning a theory (Kepler’s) that turns out to be ‘wrong’, although they do generally appreciate that it is not always a matter of ‘right’ or ‘wrong’ but ‘how’ and ‘why’, and admit it probably helps to understand Newton’s theory better. For the teachers the main difficulty is how to involve the students actively in the lessons, i.e. planning ahead, rather than just passively following the teacher’s line of instruction. With respect to understanding, the first impressions are that the students do come to appreciate mechanics as a powerful theoretical instrument with useful applications, this being significantly enhanced by having worked hands-on with the construction method introduced in the course. The students experience some difficulty in maintaining an overview of the various theories, the relation with their own intuitions, and the subtle grounds for choosing between theories. But on the whole the students come to a better understanding of Newton, especially his first law of motion, by also having studied Kepler.*” (zie ook figuur 134). Inmiddels heeft deze aanpak enige verspreiding gekregen, doordat zij, in een ‘laagdrempelige’ probleemstellende vorm, is toegepast in de NINA-module voor het domein ‘Wisselwerking en Beweging’³⁷⁴. De nadruk

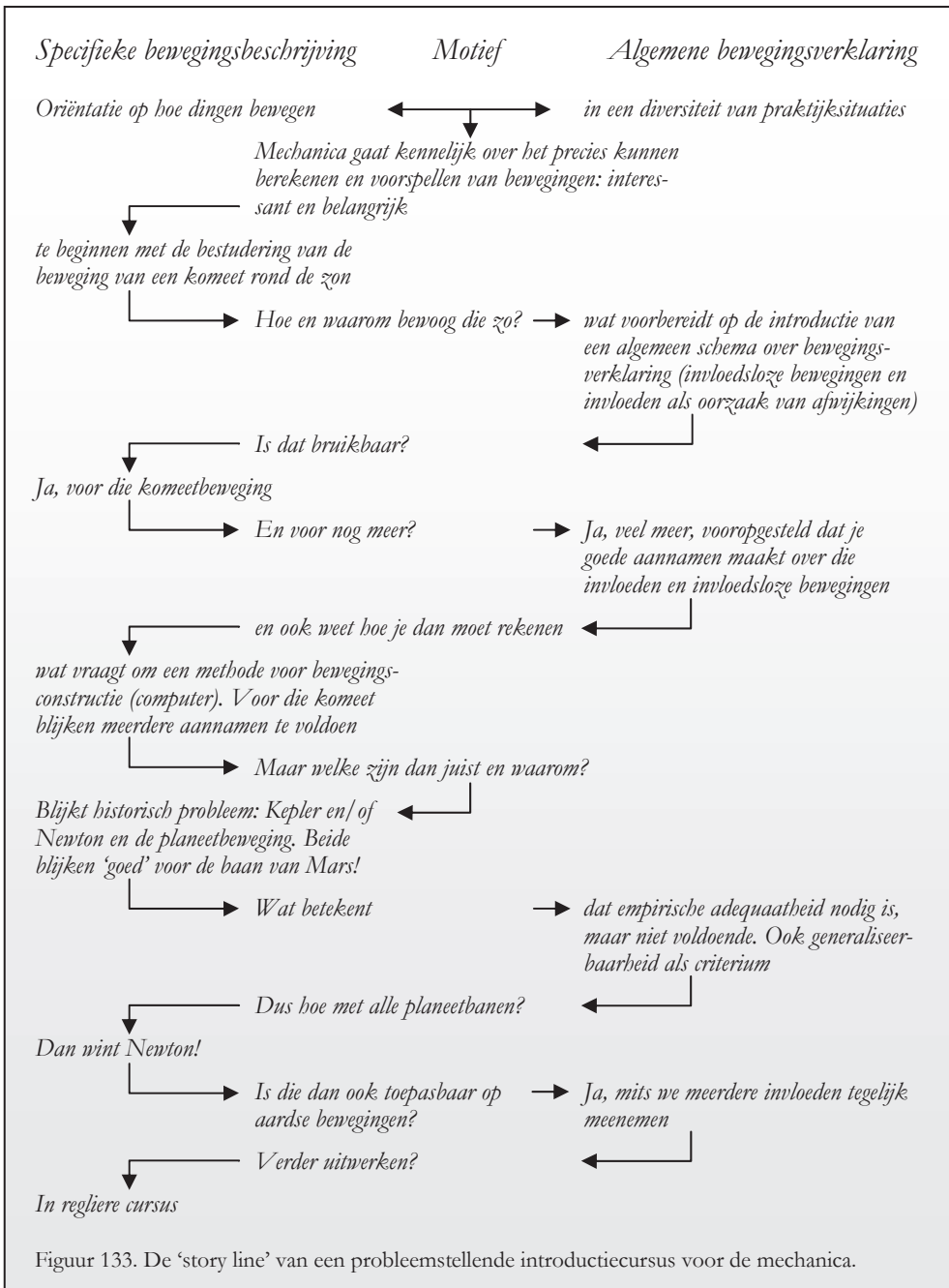
³⁷¹ A. Westra (2006). *A New Approach to Teaching and Learning Mechanics*. Utrecht: CD-β Press.

³⁷² C.W.J.M. Klaassen e.a. (2007). *Mechanica, een inleidende cursus voor 4 VWO*. Utrecht: CD-β.

³⁷³ K. Klaassen, A. Westra, K. Emmett, H. Eijkelhof & P. Lijnse (2008). Introducing mechanics by tapping core causal knowledge. *Physics Education*, 43, 433-439.

K. Emmett, K. Klaassen & H. Eijkelhof (2009). Introducing mechanics: II. Towards a justified choice between alternative theories of motion. *Physics Education*, 44, 492.

³⁷⁴ P. Dekkers, K. Klaassen, M. Vollebregt, K. Hooyman & K. Kortland (2007). Experimenteel lesmateri-



Figuur 133. De 'story line' van een probleemstellende introductiecursus voor de mechanica.

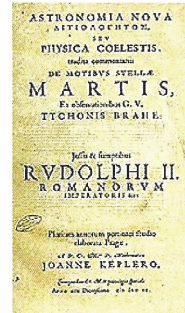
aal NINA: Deel 1. Bewegen en Verklaren, Deel 2. Krachten en beweging, Deel 3. Krachten en evenwicht. P. Dekkers, K. Klaassen & K. Kortland (2009). Newton's concept of force as a sensible choice – Integrated development of concepts and epistemology in mechanics. Poster presented at the ESERA Conference, Istanbul.

4.3 Keplers eerste poging tot een beïnvloedingstheorie

Een beïnvloedingstheorie moet informatie geven over de volgende zaken.

- Welke *invloedsbron* in een gegeven situatie op een voorwerp werkt.
- Welke eigenschappen van de invloedsbron bepalen *hoe sterk* de invloed is.
- *In welke richting* de invloed werkt.

In nevenstaand kader staan Keplers ideeën hierover weergegeven. Deze heeft hij voor het eerst gepubliceerd in 1609, in zijn beroemdste werk: *Astronomia Nova* (*Nieuwe Sterrenkunde*).



Voorblad van Keplers *Astronomia Nova*.

Opdracht 4 Een nadere uitwerking van Keplers ideeën

In deze opdracht gaan we Keplers ideeën uitwerken tot een serieuze beïnvloedingstheorie waarmee bewegingen berekend kunnen worden. Daarvoor moet precies bekend zijn hoe groot de invloed van de Zon op een planeet is wanneer die zich op een bepaalde plek bevindt. En in welke richting die invloed dan wijst.

In de figuren stelt de paarse pijl steeds de *invloed* voor die een planeet (de grijze stip) op die plek zou voelen. Je gaat nu eerst proberen deze figuren te begrijpen met Keplers ideeën over het *species*, zoals hiernaast uitgelegd.



- a. Je ziet dat dichtbij de Zon de pijl groter is. De invloed op een planeet is daar dus groter.
Leg uit hoe dit komt, met behulp van Keplers ideeën over het *species*.

- b. De invloedspijlen staan ook steeds dwars op de lijn tussen de planeet en (het midden van) de Zon. Leg uit hoe dit komt, met behulp van Keplers ideeën over het *species*. Doe dit door in de figuur wat *species* te tekenen. In welke richting beweegt het *species* in de buurt van de planeet?



Figuur 134. Een pagina uit de introductiecursus voor de mechanica³⁷².

in deze module ligt op de integratie van begripontwikkeling en epistemologie. In feite hetzelfde als in de eerder beschreven structuren van figuur 130 en 133. Echter, omdat de ‘nature of science’ geen deel uitmaakt van het mechanica curriculum was de vergelijking tussen Kepler’s en Newton’s theorie, waarin het juist gaat om epistemologische argumenten voor de keuze daartussen, voor docenten optioneel. Slechts 4 van de 20

docenten hebben dit gedaan, wat aangeeft dat docenten daar niet echt veel waarde aan hechten. Jammer! Toch?

11.3 Reflectie op de probleemstellende benadering

De praktijk

Tot zover de beschrijving van een viertal onderzoeksprojecten, gericht op de toetsing en uitwerking van een probleemstellende benadering. Aan de implementatie hiervan in de onderwijspraktijk is te weinig aandacht besteed en, afgezien van de genoemde NINA-module, zijn er, bij mijn weten, geen reguliere lesmethoden die deze benadering hanteren, al lijken er bij sommige leerboekauteurs wel enige invloeden bespeurbaar. Ook internationaal is de aanhang vooralsnog gering. Een belangrijke reden daarvoor lijkt te zijn dat de aanpak, door de uitwerking tot op activiteitsniveau, met een bijbehorend scenario dat de optimale gang van het onderwijsleerproces gedetailleerd beschrijft, nogal dwingend blijkt over te komen, alsof docenten hierdoor in een keurslijf worden gedwongen. Deze kritiek is op zijn minst begrijpelijk, ook al is ze niet terecht. Het is de inhoudelijke ontwikkeling in een gedachtegang die, binnen zekere grenzen, een optimale volgorde voorschrijft. Natuurlijk heeft de docent altijd de vrijheid daarvan af te wijken, maar dat heeft wel mogelijke consequenties ten aanzien van de begrijpelijkheid voor leerlingen. De uitvoering van deze aanpak is niet altijd gemakkelijk en stelt hoge eisen aan de docent. Zo is een zekere terughoudendheid met eigen uitleg vereist, omdat dit pas aan de orde is als de problemen voor leerlingen duidelijk zijn en zij er zelf al over nagedacht hebben. Dan gaat het vooral om het inventariseren, ordenen, bespreken en aanvullen van leerlingreacties, om vervolgens gezamenlijk te komen tot de formulering van oplossingen en van daaruit volgende nieuwe vragen. Dit vergt van de docent dus ook de vaardigheid om gezamenlijk met leerlingen productief te kunnen reflecteren. Met name het omgaan met onverwachte reacties van leerlingen doet een groot beroep op de didactische vaardigheid en het improvisatietalent van de docent. Belangrijk (en moeilijk) is het ook om regelmatig terugkijk-en-voortuitblik momenten in te lassen, bij voorkeur na afloop van een didactische fase, want deze zijn essentieel om de gang van zaken voor leerlingen doorzichtig te laten blijven. Waar zijn we nu mee bezig en waarom? Wat weten we al wel voor de oplossing van een gesteld probleem, en waaraan moet nog gewerkt worden? En dat heeft uiteraard ook consequenties voor de tijdsplanning. Discussies kunnen gemakkelijk ontaarden en vragen dan teveel tijd. Kortom, zo'n aanpak vraagt een goede voorbereiding en veel concentratie van de docent. De andere kant is dat het, volgens een aantal van de medewerkende docenten, ook veel voldoening kan geven om zo met leerlingen bezig te zijn. Zeker als het leerproces ook nog grotendeels verloopt zoals bedoeld!

Het 'concept'

Laat ik nog wat dieper ingaan op het 'concept' probleemstellend onderwijs. Naar mijn idee moeten we daarin twee zaken onderscheiden. Zoals Vollebregt schrijft³⁶⁷: *“De kern van probleemstellend onderwijs is dat leerlingen op inhoudelijke gronden de zin zien van wat ze aan het doen zijn. Als hieraan is voldaan, mag je verwachten dat nieuwe kennis niet geforceerd aan*

leerlingen wordt opgedrongen, maar dat zij deze zullen accepteren op gronden die zij zelf begrijpen.” Dit is dus de kant van de inhoudelijke motivering, het oproepen van een globaal motief en daaraan gekoppelde lokale motieven, die steeds aandacht moet krijgen. Op zich volgt hieruit nog niets over *hoe* leerlingen *wat* moeten doen. Kortom, nog niets over de vormgeving van het onderwijs zelf. Inhoudelijke motieven biedt je iemand als je hem, vanuit *zijn* standpunt, perspectief biedt op wat gaat komen. En hem vervolgens zorgvuldig probeert mee te nemen, door je steeds te verplaatsen in zijn ontwikkelende gedachten, in een gedachtegang die, als je dat wilt, uiteindelijk leidt tot jouw standpunt (een socratisch proces, dus). Door je voortdurend in te leven in zijn positie, daarbij de juiste vragen te stellen, gericht ‘passende’ informatie aan te bieden en gezamenlijk te doordenken, etc. Op het juiste moment samenvatten van wat al gedaan is en vooruitkijken naar wat nog moet komen. Kortom, door te zorgen dat de gedachtenontwikkeling voortdurend coherent is en blijft vanuit het standpunt van de lerende. Echter, dit zegt op zich nog niets over de leeractiviteit die hierbij hoort. Dit kan, in principe, allemaal nog puur in de vorm van goed vormgegeven overdracht³⁷⁵. Een auteur van een goed geschreven boek doet precies dát, al is dat in onze leerboeken weinig tot niet gebruikelijk.

Daarnaast is dus nog een visie op leren nodig. Figuur 134 geeft een voorbeeld van de soort leeractiviteiten die typerend zijn voor ‘onze’ uitwerking van een probleemstellende aanpak. Hieruit volgt dat we leerlingen niet alleen inhoudelijke motieven willen geven voor het accepteren van nieuwe kennis, maar ook vinden dat zij die kennis zoveel mogelijk zelf moeten construeren. Volgens mij is dit een aparte keuze, waarin we het idee van ‘inquiry learning’, of ‘guided reinvention’, herkennen. Natuurlijk is het zo dat onze eerste keuze, voor inhoudelijke motivering, de tweede, voor onderzoekend leren, zal versterken, maar er is geen noodzakelijke koppeling³⁷⁶.

Ideaal?

Dit concept is een mooi ideaal, maar als we nu met name kijken naar die voorbeelden waarin het ging om theorieontwikkeling vanuit een ‘theoretische instelling’ (zie ook figuur 133), dan moeten we, mijns inziens, achteraf erkennen dat hier toch wel heel veel gevraagd wordt van leerlingen (en dus ook van de docent). Dat geldt niet alleen voor hun inhoudelijke motivatie (het geïnteresseerd zijn en blijven in de subtiliteiten van theorieontwikkeling), maar ook van hun vermogen tot inhoudelijk argumenteren³⁷⁷. Dan is met recht de term ‘guided reinvention’ à la Freudenthal aan de orde. Freudenthal gaf daarvoor immers de rechtvaardiging dat hij altijd eerst zelf de oplos-

³⁷⁵ Ik werd hierop, tot mijn eigen verrassing, attent gemaakt toen een jonge collega mij, nadat hij mijn boekje over quantummechanica¹³ had gelezen, zei dat hij nu begreep (en beter waardeerde) wat wij bedoelden met een ‘probleemstellende aanpak’. Terwijl dat begrip, als didactisch uitgangspunt, toen nog helemaal niet aan de orde was. Dat is pas veel later door Klaassen ontwikkeld.

³⁷⁶ Dat er, zelfs in deze tijd, ook een andere keuze mogelijk is, blijkt bijvoorbeeld uit het project ‘Advancing Physics’⁸⁹.

³⁷⁷ Leren argumenteren is één van de nieuwe trends in het science-onderwijs (zie ook noot 368). In onze probleemstellende lessenseries komt dit echter op een vanzelfsprekende en natuurlijke wijze aan de orde. Zie bijvoorbeeld: J. Osborne (2012). *The role of argument: Learning how to learn in school science*. In: B.J. Fraser et al. (Eds.), *Second International Handbook of Science Education*. Dordrecht: Springer.

sing van een probleem wilde bedenken, voordat hij kennis wilde nemen van de antwoorden van anderen. Ofwel, je moet een diepe inhoudelijke motivatie hebben en voldoende geloof in je eigen kunnen! En voor het geval hieraan niet voldaan wordt, is het de taak van de docent om die inhoudelijke spanning overeind te houden. Op grond van dit soort overwegingen, denk ik dat het probleemstellend werken vanuit een theoretische oriëntatie vooral voorbehouden is aan VWO-leerlingen, en zelfs daarvan nog slechts een selectie. Voor 'puur' onderzoekend leren ligt dit uiteraard niet anders, en eerder nog problematischer omdat dan meestal het zicht op het doel ontbreekt. Vanuit een praktische oriëntatie kan dit echter anders liggen, zoals we gezien hebben bij het onderwerp radioactiviteit. Dan is immers veelal een beter 'grijpbaar' praktisch doel aan de orde. In dit opzicht is het misschien verhelderend om de grote praktische lijn van het PLON-HAVO thema 'Verkeer' (zie paragraaf 4.3.8) nog eens te vergelijken met de theoretische lijn uit de (introducerende) mechanicacursus van figuur 133.

Ontwerpen

Het ontwerpen van lesmateriaal voor een probleemstellende benadering is lastig, vanwege de noodzakelijke bottom-up aanpak. Je steeds verplaatsen in het standpunt van de leerling is heel moeilijk en niet gebruikelijk. Het vraagt een voortdurende blikwisseling en is ook maar gedeeltelijk achter een bureau te doen, zelfs voor ervaren docenten en ontwikkelaars. Dat betekent dat er altijd meer ontwikkelronden nodig zijn, voordat het lesmateriaal en het bijbehorende scenario (dat het hypothetisch verloop van het onderwijsleerproces beschrijft) 'goed genoeg' is. Daarnaast veroorzaakt de keuze voor 'onderzoekend leren' speciale ontwerpproblemen, die eigenlijk van alle tijden zijn (te beginnen, bijvoorbeeld, met de Nuffield-projecten) en nog door niemand bevredigend zijn opgelost. Onderzoekend leren houdt in dat je leerlingen relatief open opdrachten geeft, die ze zelf moeten oplossen. Wil dit niet ontaarden in een flauw vraag-en-antwoordspelletje, dan moeten die opdrachten ook reële denkstappen inhouden. Tegelijk mag het niet zo zijn dat het antwoord op de vorige opdracht af te leiden is uit de verwoording van de volgende opdracht. Eigenlijk moet zulk lesmateriaal dus praktisch uitsluitend bestaan uit opdrachten, zodat leerlingen op grond van hun oplossingen hun eigen theorieboek schrijven. Maar dat stuit uiteraard op allerlei praktische problemen, zodat dit 'ideaal' in de praktijk welhaast nooit haalbaar is (de eerste Nuffield O-level 'Questions books', maar ook de WEI-leergang zijn voorbeelden van projecten die daar desalniettemin zeer ver in gingen). In de praktijk zien we dan ook allerlei mengvormen ontstaan, waarbij soms zeer veel water in de ideale wijn wordt gedaan (zie ook PRIMAS). Pogingen om het ontwerpproces te reguleren door middel van ontwerpprincipes²⁷⁸ zijn waardevol, maar tegelijk kunnen ze weinig tot geen garantie bieden voor het bereiken van de noodzakelijke didactische kwaliteit. Zulke principes geven op hoofdlijnen richting aan een ontwerp, maar niet op het microniveau van te kiezen en te formuleren opdrachten.

Didactische faseringen

Desalniettemin wil ik nogmaals aandacht besteden aan de didactische fasen in onze ontwerpen, die immers niet alleen descriptief, maar ook prescriptief kunnen worden

geïnterpreteerd. Ofwel, als ontwerpprincipe! In de omschrijving van deze fasen gaat het steeds om een didactische functie die in die fase moet worden vervuld. Op zich is dit fenomeen in de literatuur in vele varianten beschreven. Zo onderscheidt Roebertsen³⁷⁸ een begripsontwikkelingsmodel met vier fasen: activering van voorkennis, verwerving van nieuwe kennis, verwerking waardoor nieuwe kennis aan al bestaande kennis gerelateerd wordt, en toepassing waarin de verworven kennis in nieuwe situaties gebruikt wordt³⁷⁹. Van Dormolen³⁸⁰ introduceerde jaren geleden het OsaEV-model³⁸¹ en het daarop voortbouwende OOV-model, voor het onderwijzen van (wiskundige) begrippen, respectievelijk ruimer opgevatte concepten. Eerder is al geschreven over ‘learning cycles’³⁸². Vanuit een op overdracht gerichte onderwijsopvatting wordt deze ‘cycle’ geformuleerd als: informeren, verifiëren en oefenen. Vanuit een ‘inquiry-based’ opvatting over leren wordt dit: exploreren, uitvinden en toepassen. Driver en Oldham²⁷⁴ formuleerden, zoals we gezien hebben, vanuit een constructivistische opvatting over leren, de volgende fasering: oriënteren, eliciteren, herstructuren, toepassen en reflecteren. Ten slotte de fasering van Ten Voorde²⁴¹. Deze beschrijft vijf onderwijsfasen die doorlopen moeten worden om te komen tot een (Van Hiele-)niveauverhoging: informeren, gebonden oriënteren, expliciteren, vrij oriënteren en integreren. Deze fasen lijken vooral gericht op het vormgeven van begripsontwikkeling, en als zodanig ook bruikbaar. Ze vertonen een zekere overeenkomst met en bieden ook een verfijning van eerder gegeven ‘cycles’.

Als we nu al deze fasen vergelijken met de ‘onze’, dan vallen, naast overeenkomsten, ook belangrijke verschillen op. In de eerste plaats onderscheiden onze fasen, en daarmee onze didactische functies, zich door het feit dat er steeds sprake is van het oproepen, toespitsen, voldoen aan, en reflecteren op (globale en lokale) motieven. Kennis en vaardigheden worden ontwikkeld vanuit een bepaald perspectief dat ook voor de leerlingen een richtlijn zou moeten zijn. Daardoor beschrijven onze fasen niet alleen de activiteiten van de docent, maar ook dat wat voor leerlingen duidelijk moet worden gemaakt. Dit perspectief voor leerlingen blijft in de andere beschreven fasen impliciet en daardoor zal het voor leerlingen en docenten ook niet functioneren. Deze fasen beschrijven dan gewoon de activiteiten die docenten moeten vormgeven om het leer-

³⁷⁸ H. Roebertsen (1996). *Integratie en toepassing van biologische kennis*. Utrecht: CD-β Press.

³⁷⁹ Deze fasering lijkt sterk op een bekend model van lesplanning: ophalen van voorkennis (huiswerk overhoren), nieuwe kennis verwerven (nieuwe theorie behandelen), integreren met bestaande kennis (enkele voorbeelden behandelen), en toepassen van nieuwe kennis (sommen maken).

Hieruit blijkt dat je aan het concept ‘didactische fasering’ in zekere zin een ‘fractale structuur’ zou kunnen toekennen. Zo’n fasering speelt op alle niveaus, van een enkele onderwijsleeractiviteit, van een enkele les, van een lessenserie, van meerdere lessenseries, tot een totaal curriculum. Eenzelfde opmerking geldt, denk ik, ook voor het begrip didactische structuur.

³⁸⁰ J. van Dormolen (1981). *Didactiek van de Wiskunde*. Utrecht.

³⁸¹ OsaEV staat voor: Oriënteren, sorteren, abstractie controleren, Expliciteren, Verwerken. Het is een model gericht op het leren van wiskundige begrippen. Later is dit model verruimd tot OOV: Oriënteren, Ontwikkelen, Verwerken. Van Dormolen noemde dit modellen voor leerstofordening. Beter is het, denk ik, om te spreken van ordenen van onderwijsleeractiviteiten.

³⁸² M.R. Abraham (1998). The learning cycle approach as a strategy for instruction in science. In: B.J. Fraser & K.G. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education*. Dordrecht: Kluwer.

proces van hun leerlingen te faciliteren, maar niet de overkoepelende richtinggevende verbindingen daartussen.

Naar mijn overtuiging bieden ‘onze’ faseringen, om voorgaande redenen, een betere ontwerpheuristiek dan de andere die genoemd zijn. In het bijzonder moet nog het belang van fase 1 genoemd worden. Het bieden van een functionerend vooruitzicht en het succesvol oproepen van de daarvoor gewenste oriëntatie, blijkt niet alleen essentieel voor het succes van het verdere verloop, maar ook uiterst moeilijk! Eenzelfde soort globale ontwerpheuristiek kan ontleend worden aan de niveaustucturen. Hoe globaal ook geformuleerd, ze bieden wel degelijk een perspectief dat afwijkt van wat gebruikelijk is.

Opnieuw handelingspraktijken

Vergelijking van de ervaring met het onderwerp ‘radioactiviteit’ met die van het onderwerp ‘verklaren van beweging’ laat zien dat het voor ‘omgaan met radioactiviteit’ aanzienlijk gemakkelijker is om leerlingen te brengen tot de gewenste oriëntatie en interesse, dan voor ‘verklaren van beweging’. Het eerste heeft immers, vanuit de leefwereld, een onmiddellijk duidelijke relevantie, terwijl het laatste niet vanuit de leefwereld, maar pas vanuit wetenschappelijke interesse relevant wordt. Dit doet het al eerder genoemde vermoeden rijzen dat voor leerlingen bekende of herkenbare handelingspraktijken zich in het bijzonder goed zouden lenen voor didactisering volgens een probleemstellende aanpak. Immers, het globale motief, en de daaraan te ontlene lokale motieven, waarvan het oproepen voor een wetenschappelijk onderwerp veel inspanning vergt, zijn dan direct gegeven in het doel van de handelingspraktijk en de daaraan te ontlene deelhandelingen. Het door Van Oers genoemde aansluiten bij het ‘willen en kunnen’ van leerlingen, ligt dan besloten in de goede keuze van daarvoor relevante praktijken. Je zou dus kunnen stellen dat onze probleemstellende aanpak zijn ontstaan ontleent aan het feit dat, normaliter, de inhoudelijke structurering van ons natuurkundeonderwijs disciplinegericht plaatsvindt. In een cultuurhistorische benadering maken probleemstellende kenmerken al vanzelf deel uit van de theorie, al zegt deze cultuurhistorische theorie verder niets over een adequate didactische uitwerking. Die zou dan weer ontleend kunnen worden aan onze aanpak. Het werk van Westbroek³⁸³ gaat een heel eind in deze richting, omdat zij geprobeerd heeft een handelingspraktijk, namelijk die van het testen van waterkwaliteit, probleemstellend te didactiseren. Helaas heeft ook deze gecombineerde aanpak tot nu toe, zelfs in het nieuwe scheikundeonderwijs, weinig navolging gevonden.

11.4 Afsluiting

In deze laatste drie hoofdstukken is veel aan de orde geweest. Is het puur zelfoverschatting dat ons eigen werk, de ‘probleemstellende aanpak’, het laatst aan de orde gesteld is? Als een soort totale apotheose? Alhoewel het fenomeen zelfoverschatting

³⁸³ H.B. Westbroek (2005). *Characteristics of Meaningful Chemistry Education. The Case of Water Quality*. Utrecht: CD-β Press.

impliciet waarschijnlijk wel een rol gespeeld heeft, is er toch ook een meer acceptabel argument voor te geven. En dat is dat onze aanpak in vele opzichten voortbouwt op, of gebruik maakt van, inzichten die door anderen zijn verkregen.

Zo waren wij zeer geïnspireerd door het werk van de WEI, en zijn wij ongeveer de enigen in dit land die nog gebruik maken van hun ideeën. Ook het denkkader van het realistisch reken-wiskundeonderwijs heeft duidelijk aanwijsbare sporen achtergelaten. En al gebruiken we niet de ‘oude’ theorie van ‘conceptual change’, het voortbouwen op, uitbreiden en zo nodig bijstellen van intuïties van leerlingen is een kernpunt in ons werk. Zelfs met productief gebruik van conflicten. U mag zelf bepalen of u dat ‘conceptual change’ wilt noemen of niet! Wij zijn het eens met de gevraagde aandacht voor ‘ancillary knowledge’, en ook Viennot’s vraag om coherentie voor leerlingen vindt bij ons een goed gehoor. Zelfs de aandacht voor ‘verbeterde directe instructie’ heeft onze aandacht gehad, omdat we ons wel realiseerden dat onze onderzoeksuitwerkingen relatief ver af staan van de dagelijkse praktijk. Vandaar dat we in een project voor ‘laagdrempelig probleemstellend onderwijs’ ook geprobeerd hebben een vorm te ontwikkelen die veel gemakkelijker implementeerbaar is voor docenten³⁸⁴. Het probleemoplossen heeft geen expliciete aandacht gekregen in ons werk, maar wij hebben wel een model ontwikkeld volgens welke je probleemstellend aandacht zou kunnen besteden aan het zinvol invoeren van heuristieken. Ook het werken met ICT en aandacht voor metacognitie past naadloos in onze aanpak, evenals de integratie van aandacht voor de ‘nature of science’ en voor modelleren en argumenteren. Ten slotte is er ook een organische koppeling mogelijk met een cultuurhistorische benadering. En het is niet alleen dat onze benadering in de aangegeven zin gebruik maakt van werk van anderen, het voegt daar ook iets essentieels aan toe, namelijk datgene wat een probleemstellende aanpak nu juist probleemstellend maakt: de inhoudelijke motieontwikkeling. Iets wat in alle andere benaderingen ofwel ontbreekt, ofwel alleen theoretisch wordt beschreven.

Welnu, zijn daarmee alle problemen die in hoofdstuk 8 op tafel zijn gelegd, intussen opgelost, en wel in het bijzonder dank zij onze eigen aanpak? Wel, eeeehh... ja, natuurlijk! Of, beter, nee, misschien toch niet? Toch nog niet helemaal?

³⁸⁴ H. Poorthuis e.a. (2001). Docentenhandleiding bij ‘Newton Natuurkunde voor de tweede fase’, volgens een laagdrempelige probleemstellende aanpak. Utrecht: CD-β.

12 De ‘oplossingen’ gewogen

12.0 Doel

In dit korte afrondende hoofdstuk wil ik de voorgaande drie hoofdstukken in hun bruikbare kern samenvatten, om daarna de kritiek te bespreken die er op al deze ‘minimal guidance’ benaderingen is uitgeoefend. Betekent deze kritiek dat we het allemaal verkeerd gedaan hebben, of blijft er toch nog iets overeind van alle beschreven inspanningen?

12.1 Dwarsgebakken samenvatting

In deze laatste drie hoofdstukken is een diversiteit aan ‘oplossingen’ de revue gepasseerd. Wat is nu uiteindelijk het beeld dat hieruit resulteert? Zijn we nu, didactisch gezien, iets verder gekomen? Dat is geen eenvoudige vraag. Zo was er het in hun tijd baanbrekende werk van de WEI, maar dat is inmiddels goeddeels vergeten. Het realistische reken-wiskundeonderwijs is weliswaar nog volop aanwezig, maar, naar mijn indruk, toch over zijn hoogtepunt heen. De onstuimige, internationaal toonaangevende vernieuwingsstroom, onder leiding van de charismatische Freudenthal, is geëvolueerd tot een voortkabbelend beekje. De recente conclusie dat onderwijs volgens een realistische didactiek zich qua cognitief leereffect niet onderscheidt van ‘gewoon’ onderwijs, is toch teleurstellend voor zo’n jarenlange onderzoeksmatig onderbouwde didactische vernieuwing. Dit plaatst ook een vraagteken bij wat wetenschappelijke onderbouwing in dit opzicht eigenlijk betekent³⁸⁵. Het zijn niet zozeer de uitgangspunten, zoals het principe van ‘guided reinvention’, die wetenschappelijk onderbouwd worden, maar veeleer de uitwerkingen daarvan. Als je gelooft in de onderliggende visie, het paradigma, dan zijn er talrijke onderzoeken die de vormgeving in de praktijk nader specificeren en toetsen. Maar de visie zelf onttrekt zich kennelijk aan die wetenschappelijke toetsing. Als iets niet goed gaat, dan komt niet de visie ter discussie, maar de uitwerking daarvan. Die kan immers altijd beter! Dit probleem is van alle tijden en speelt, denk ik, ook bij de ‘gelovers’ in een probleemstellende benadering, bij de cultuurhistorici, en bij de aanhangers van ‘conceptual change’. Ook dat laatste is over zijn hoogtepunt heen, zeker in de ‘klassieke’ uitwerking, die uitgaat van het overwinnen van foute pre- en misconcepties door middel van op te roepen cognitieve conflicten. Mede doordat het idee dat deze preconcepties minder fout zijn dan eerst gedacht, zodat je er ook positief gebruik van kunt maken, duidelijk aanhang heeft gewonnen. Deze inleidende opmerkingen geven aan waarom het niet eenvoudig is eenduidige conclusies te trekken. Laat ik desalniettemin toch proberen een aantal concluderende lijnen te schetsen.

³⁸⁵ Het is in dit opzicht zorgwekkend en veelzeggend dat de Stichting Skepsis, die het toch tot haar taak rekent om pseudowetenschap te scheiden van echte wetenschap, op zijn jaarlijkse congresdag in 2012 een hoofdlezing liet houden door een tegenstander van het realistisch rekenen.

1 De noodzaak van aandacht voor het constructie-karakter van nieuwe kennis – Het triviaal constructivistische uitgangspunt wordt eigenlijk in alle beschreven benaderingen geaccepteerd, ook al werd het aanvankelijk nog niet als zodanig geformuleerd. Betekenissen worden actief geconstrueerd door lerenden en kunnen niet zomaar passief, als bedoeld, worden overgedragen. Bovendien, leerlingen zijn geen ‘tabula rasa’ en daar moet je didactisch op de een of andere manier rekening mee houden. Maar hoe?

In ieder geval is dan nodig dat je je voortdurend actief bewust bent van dit uitgangspunt, dat je daartoe op een of andere manier ook constructieruimte creëert, en dat is precies wat in het voor-constructivistische tijdperk, hoe triviaal de gedachte op zich ook mag zijn, niet het geval was.

2 De noodzaak van een betere conceptuele analyse – Een ander punt waar alle genoemde auteurs het wel over eens blijken te zijn, ook al besteedt lang niet iedereen daar evenveel aandacht aan, is de noodzaak van een betere en gedetailleerdere conceptuele analyse, zowel van de te onderwijzen begrippen als van de aanwezige voorkennis. Kortom, een grondige analyse van de ‘learning demand’ en van de begripsstappen die nodig zijn ter overbrugging, is noodzakelijk.

We hebben gezien hoe met name het leefwerelddenken, zowel ten aanzien van specifieke onderwerpen als in het algemeen, als startpunt voor natuurkundige begripsontwikkeling meer aandacht kreeg. Als kenmerk daarvan concludeerden we dat dit leefwerelddenken, mits goed geïnterpreteerd, niet anders dan grotendeels correct kan zijn, dat wil zeggen in overeenstemming met wat we zelf vinden en denken in overeenkomstige situaties. Maar wetenschappelijke natuurkundige begrippen maken er nog geen deel van uit. Preciezere analyse van deze begrippen, in het licht van de voorkennis, moet een soepeler verloop van de begripsontwikkeling mogelijk maken. In dat proces verdient vooral het behoud van coherentie vanuit het standpunt van de lerende, meer aandacht. Daarnaast vraagt de te onderwijzen natuurkunde ook om een beter uitgewerkte procedurele analyse.

3 De noodzaak van een betere didactische uitlijning – Voor de didactische uitlijning van een begripsontwikkelingstraject kan het denken in termen van niveaus à la ‘Van Hiele’ een goed hulpmiddel zijn. Te beginnen met een te problematiseren en te selecteren deel van de leefwereld, dienen nieuwe ervaringen te leiden tot een empirisch beschrijvend niveau. Een nieuwe problematisering kan dan vragen om het ontwikkelen van een verklarend theoretisch niveau. De uitbreidingen van deze niveaus vinden steeds plaats door voortgaande horizontale en verticale fysicisering, waarvoor vele hulpmiddelen zijn geïdentificeerd (analogieën, metaforen, modellen, symbolisering, schema’s, modellen, experimenten, simulaties, etc.). Als deze uitlijning met voldoende verfijning plaatsvindt, resulteert een ‘continu’ proces van stapsgewijze ‘conceptual growth’ (in plaats van schoksgewijze ‘conceptual change’), met reflectie als motor. Een goede regulering van, en balans tussen, sturing van bovenaf en coaching van onderop is een cruciale factor, zowel in de planning als uitvoering van het onderwijsleerproces. Daarbij moeten we bedenken dat zowel de leerdoelen als de optimale vormgeving van onderwijs eigenlijk alleen kunnen resulteren uit een daarop gericht onderzoeksproces, ze gaan er niet aan vooraf!

4 De noodzaak van meer en betere communicatie – Om het verloop van de begripsontwikkeling zo goed mogelijk te laten verlopen, is het nodig om meer aandacht te

besteden aan de communicatie tussen leerlingen onderling en tussen leerlingen en de docent. Kern hierin is het interpretatieprobleem, wat alleen kan worden opgelost als leerlingen zich kunnen uitspreken met betrekking tot hun eigen constructies en als docenten daar ook werkelijk naar leren luisteren en productief mee leren omgaan.

5 De noodzaak van aandacht voor metacognitie en reflectie – Begripsontwikkeling kan alleen succesvol verlopen als er voortdurend aandacht is voor reflectie op het inhoudelijk verloop van het leerproces. Daarnaast speelt metacognitie ook een beslissende rol in het oplossen van problemen en bij het leren van complexere vaardigheden. Heuristieken kunnen daarin een goede rol vervullen, mits deze inzichtsvol ontwikkeld worden, zodat hun inhoud en functie duidelijk is voor leerlingen. De bestaande metacognitieve opvattingen van docenten en leerlingen ten aanzien van eigen competenties, onderwijs, leren en het vak natuurkunde vormen echter vaak een beslissende hinderpaal voor succesvolle innovaties.

6 De noodzaak van aandacht voor motieven en motivatie – De noodzaak om aandacht te besteden aan voor leerlingen motiverende inhoud en werkvormen is wel bekend. Daarnaast is het echter evenzeer nodig om leerlingen voortdurend te voorzien van inhoudelijke motieven (wat iets anders is dan motiverende inhoud) voor de te leren begrippen en werkwijzen. Een probleemstellende aanpak, al of niet in combinatie met een leerstofordening in de vorm van handelingspraktijken, kan hierin voorzien.

7 De noodzaak van een consistent geïntegreerde visie op het vak, vakonderwijs, onderwijzen en leren – De voorbeelden van de WEI en het realistisch rekenonderwijs demonstreren hoe een visie op ‘wetenschap als menselijke activiteit’ zich laat vertalen tot een visie op ontwikkelend vakonderwijs, waarin als vanzelf een constructivistische epistemologie functioneel wordt uitgewerkt en aangevuld met psychologisch motiveerbare (handelings-) elementen. De ‘conceptual change’ benadering mist de visie op het vak en op vakonderwijs, maar baseert zich op een algemene wetenschapstheoretische reflectie, aangevuld met een meer of minder leerlinggerichte visie op onderwijs. Directe instructie of overdrachtsonderwijs, daarentegen, gaat uit van leerstof als over te dragen product, waarvoor een zo efficiënt mogelijke onderwijsmethode wordt gezocht, waartoe de onderwijspsychologie moet bijdragen.

Idealiter vullen wetenschapsfilosofie, onderwijspsychologie en vakvisie elkaar, didactisch gezien, dus aan. Het is dan ook eigenlijk merkwaardig dat commissies als NINA uitsluitend bindende uitspraken mogen doen over leerstof, en zich juist niet mogen bemoeien met de didactiek. Ten onrechte wordt die helemaal overgelaten aan de individuele docent.

8 De noodzaak van een actieve betrokkenheid, ‘time on task’ en ‘tijd voor ontwikkeling’ – Alle voorbeelden demonstreren het belang van actieve betrokkenheid van de leerling, al is het niet altijd even helder hoe die kan worden bevorderd. Betrokkenheid is nodig om de ‘time on task’, zowel kwantitatief als kwalitatief, te optimaliseren. Daarnaast vragen leerprocessen vooral tijd om zich te kunnen ontwikkelen. Het ontstaan van inzicht is geen digitaal proces, maar iets wat geleidelijk groeit, mits het daarvoor ook de kans krijgt en de voeding!

9 De noodzaak van adequate vakdidactische scholing van docenten – Dit alles benadrukt de noodzaak van adequate didactische scholing van docenten. Als we ons echter realiseren dat die scholing niet zozeer een kwestie kan zijn van de bestudering van

kant en klare theorie (van leerstof dus), maar veel meer van theoretische reflectie op en aanvulling van eigen ervaring, dan volgt de conclusie dat de initiële opleiding van docenten daar, per definitie, slechts in onvoldoende mate aan tegemoet kan komen. Het valt ook te betwijfelen of de wens van veel scholen om een groot deel van de opleiding zelf 'in-service' te verzorgen, in dit opzicht veel soelaas biedt. Kortom, de vakdidactische scholing van docenten is vooralsnog een structureel probleem in ons land.

10 De noodzaak van nog meer uitgewerkte voorbeelden – In deze hoofdstukken is een aantal voorbeelden besproken waarin steeds geprobeerd is de theoretische achtergrond zo concreet mogelijk uit te werken in feitelijk onderwijs. Toch zijn deze voorbeelden er nog onvoldoende in geslaagd om, enerzijds, op elkaar voort te bouwen en, anderzijds, om de onderwijspraktijk werkelijk te beïnvloeden. Daarvoor zijn nog meer onderzoeks- en ontwikkelprojecten nodig, zeker ook in de vorm van scholing voor docenten, maar dan moet de beschikbaarheid en implementatie van hun producten wel voldoende aandacht krijgen.

Wat deze laatste noodzaak betreft, moet ik echter constateren dat de inhoudelijke onderzoeks aandacht inmiddels voor een belangrijk deel is verschoven van het ontwerpen van gedetailleerde didactische uitwerkingen naar het ontwerpen van leerlijnen of 'learning progressions'. De (bij)scholing van docenten staat overigens inmiddels wel op de agenda. De achterliggende gedachte, ook in ons land³⁸⁶, is dat scholen en docenten, als 'professionals', zelf verantwoordelijk zijn voor de didactiek, maar dat ze daarop wel kunnen en moeten worden aangesproken. 'Accountability' dus. Daartoe worden dan standaarden ontwikkeld en bijbehorende toetsmomenten. Deze leerlijnen geven, gebruik makend van zoveel mogelijk resultaten van didactisch onderzoek naar begripsontwikkeling, een inhoudelijke uitlijning in 'niveaus van begripsontwikkeling' ten aanzien van een bepaald inhoudsgebied. Na validering moeten deze niveaus dan gaan functioneren als 'norm en standaard' voor een toetsmoment, horend bij een bepaalde leeftijd of zeker opleidingsniveau van leerlingen^{361,387}. In ieder geval is dit een manier om relevante onderzoeksuitkomsten te implementeren in de praktijk. De nadruk ligt dan, qua retoriek, niet op altijd discutabele didactische strategieën, die immers toch niet kunnen en mogen worden voorgeschreven, maar op toetsbare leereffecten. Voor zover er grootschalige leereffecten ten aanzien van het omgaan met pre- en misconcepties zijn gerapporteerd, ging het vooral om Amerikaanse onderzoeken, die grotendeels betrekking hadden op onderwijs op college-niveau. Dat wil zeggen op onderwijs waarin directe instructie een belangrijke rol speelt, zij het dat dit dan vaak juist werd aangevuld met speciale activiteiten om studenten tot diepere verwerking en overleg met 'peers' aan te zetten. Een wel heel speciale rol bleek hierbij weggelegd te

³⁸⁶ Om slechts één voorbeeld te geven, zie: W. Spek & M. Rodenboog-Hamelink (2011). *Natuurwetenschappelijke vaardigheden onderbouw havo-vwo*. Enschede: SLO.

³⁸⁷ C.L. Smith, M. Wiser, C.W. Anderson & J. Krajcik (2011). Implications of research on children's learning for standards and assessment: A proposed learning progression for matter and the atomic-molecular theory. *Measurement*, 14, 1-98.

A.C. Alonzo & J.T. Steedle (2008). Developing and assessing a force and motion learning progression. *Science Education*, 93, 389-421.

zijn voor het gebruik van ICT, in het bijzonder in de vorm van MBL's. Je zou kunnen concluderen dat dit een van de weinige innovaties is die echt blijken te werken. Of dit ook nog geldt voor de onder invloed van de ‘technology push’ ontwikkelde huidige digitale leeromgevingen, valt nog te bezien³⁸⁸.

Het ‘geleid onderzoekend leren’, onder welke naam en in welke vorm dat dan ook precies wordt vormgegeven, blijkt de meest dominante visie van waaruit aan didactische vernieuwing is en wordt gewerkt. Dat betekent dat al deze vernieuwing op zijn minst ‘constructivistisch geïnspireerd’ is, ook al zegt dat, zoals we gezien hebben, nog niet zoveel. De manier waarop dit onderzoekend onderwijs aan leerlingen wordt aangeboden, varieert ruwweg tussen het simpelweg laten uitvoeren van top-down gestructureerde opdrachten in een gegeven volgorde, tot het samen oplossen van een gezamenlijk gesteld inhoudelijk probleem. Zeker in het laatste geval doet het een zwaar beroep op het vermogen van leerlingen om rationeel en logisch te kunnen redeneren. Voor zover er evaluatieonderzoek heeft plaatsgevonden naar de gerapporteerde experimenten, is het resultaat ruwweg steeds hetzelfde. De docenten vinden het lastig, maar veelbelovend en zeggen er veel van te hebben geleerd. Hetzelfde geldt voor de leerlingen, ook die zijn meestal tevreden, soms zelfs enthousiast en ook die vinden dat ze veel geleerd hebben. Hard vergelijkend onderzoek is echter, door vakdidactici, ten aanzien van ‘guided inquiry learning’ nauwelijks gedaan.

12.2 En toch: kritiek?!

Soms is het goed om ook eens te luisteren naar predikers van een ander geloof. Aan het begin van hoofdstuk 7 had ik dit, ter relativering van al wat toen nog moest volgen, al aangekondigd. In 2006 hebben Kirschner, Sweller & Clark¹⁵² een artikel gepubliceerd, waarin zij “*constructivist, discovery, problem-based, experiential and inquiry-based teaching*” op de korrel nemen, dus ongeveer alles waarover ik het tot nu toe gehad heb. Hierop wil ik nu ingaan, omdat het op zijn minst tot nadenken stemt!

“Disputes about the impact of instructional guidance during teaching have been ongoing for at least the past half-century. On one side of this argument are those advocating the hypothesis that people learn best in an unguided or minimally guided environment generally defined as one in which learners, rather than being presented with essential information, must discover or construct essential information for themselves. On the other side are those suggesting that novice learners should be provided with direct instructional guidance on the concepts and procedures required by a particular discipline and should not be left to discover those procedures by themselves. (...)

The minimally guided approach has been called by various names including discovery learning, problem-based learning, inquiry learning, experiential learning, and constructivist learning. Examples of applications of these differently named but essentially pedagogically equivalent approaches include science instruction in which students are placed in inquiry learning contexts and asked to discover the fundamental and well-known principles of science by modeling the investigatory activities of professional researchers. (...)

³⁸⁸ De nieuwe ‘Steve Jobsscholen’ lijken, mijns inziens, een duidelijke demonstratie van hoe ‘technology push’ ook kan leiden tot onverantwoorde innovaties.

There seem to be two main assumptions underlying instructional programs using minimal guidance. First they challenge students to solve “authentic” problems or acquire complex knowledge in information-rich settings based on the assumption that having learners construct their own solutions leads to the most effective learning experience. Second, they appear to assume that knowledge can best be acquired through experience based on the procedures of the discipline. (...)

The goal of this article is to suggest that based on our current knowledge of human cognitive architecture, minimally guided instruction is likely to be ineffective. The past half-century of empirical research on this issue has provided overwhelming and unambiguous evidence that minimal guidance during instruction is significantly less effective and efficient than guidance specifically designed to support the cognitive processing necessary for learning.”

De kern van hun argument ligt in het overigens al lang bekende feit dat de verwerkingscapaciteit van het werkgeheugen beperkt is tot maximaal zeven ‘chunks’. Als je dus in het onderwijs situaties aanbiedt die meer verwerkingscapaciteit vragen, en dat is met name het geval als het gaat om het verwerken van open nieuwe informatie, dan kan er geen effectief leerproces optreden. *“Recommendations advocating minimal guidance during instruction proceed as though working memory does not exist or, if it does exist, that it has no relevant limitations when dealing with novel information, the very information of interest to constructivist teaching procedures. We know that problem solving, which is central to one instructional procedure advocating minimal guidance, called inquiry-based instruction, places a huge burden on working memory.”*

Hoe heeft het dan toch zover kunnen komen, kun je je afvragen. Hoe kan het dat de grote meerderheid van didactici zich toch juist aangetrokken voelt tot een of andere vorm van onderzoekend leren, als dat gedoemd is niet te werken? *“Recommending minimal guidance was understandable when Bruner (1961) proposed discovery learning as an instructional tool because the structures and relations that constitute human cognitive architecture had not yet been mapped. We now are in a quite different environment because we know much more about the structures, functions, and characteristics of working and long-term memory; the relations between them; and their consequences for learning and problem solving.”*³⁸⁹ Uiteindelijk komen ze na een lang en scherp betoog tot de volgende conclusie: *“After a half-century of advocacy associated with instruction using minimal guidance, it appears that there is no body of research supporting the technique. In so far as there is any evidence from controlled studies, it almost uniformly supports direct, strong instructional guidance rather than constructivist-based minimal guidance during the instruction of novice to intermediate learners. Even for students with considerable prior knowledge, strong guidance while learning is most often found to be equally effective as unguided approaches. Not only is unguided instruction normally less effective; there is also evidence that it may have negative results when students acquire misconceptions or incomplete or disorganized knowledge.”*

Nou, daar kunnen we het dan mee doen! Hebben we het al die jaren dan helemaal verkeerd gedaan? Hoe kan dat? Of schetsen ze, ter versterking van hun argumentatie, vooral een karikatuur van ‘minimal guidance’ en gooien ze wat dat betreft alles op één

³⁸⁹ De remedie is dan ook duidelijk: voorkom overbelasting van het werkgeheugen! Zie: J. Sweller, P. Ayres & S. Kalyuga (2011). *Cognitive Load Theory*. Dordrecht: Springer.
P.A. Kirschner (2002). Cognitive load theory: Implications of cognitive load theory on the design of learning. *Learning and Instruction*, 12, 1-10.

grote hoop? Immers, bij het uitwerken van constructivistisch onderwijs is toch nadrukkelijk gezegd dat leerlingen zeker niet alles zelf hoeven te bedenken en dat informatieverstrekking en uitleg door de docent of anderszins wel degelijk past binnen die optiek. Natuurlijk, het ‘falen’ van ‘discovery learning’ was bekend, maar was ‘guided inquiry learning’ er nu juist niet op gericht om door de juiste van mate van ‘guidance’ deze tekortkomingen te repareren? En moet niet, om die juiste mate te kunnen vaststellen, experimenteel onderwijs altijd eerst één of meerdere malen worden uitgetoetst? En was de sterke opkomst van het constructivisme nu juist ook niet het gevolg van de vele misconcepties die werden geconstateerd na het gebruikelijke overdrachts-onderwijs, volgens ‘direct instruction’? Kortom, het beeld van Kirschner et al. lijkt wel een zeer vereenvoudigde en eenzijdige weergave van de werkelijkheid, om het vriendelijk te zeggen. Zij besteden ook geen enkele aandacht aan de didactische kwaliteit waarmee het ‘minimal guidance’ onderwijs wordt uitgevoerd en daarin kunnen toch echt cruciale verschillen optreden. En hoe zijn eigenlijk die onderzoeken uitgevoerd waarop zij zich zeggen te baseren? Besteedden die wel adequate aandacht aan het meten van juist de kwalitatieve begripsvorming, wat toch het sterke punt van constructivistisch onderwijs zou moeten zijn?

En toch hebben zij wel degelijk een punt, lijkt me. Zou het zelfs niet zo kunnen zijn dat het feit dat bijna alle evaluatieonderzoeken van onderwijsvernieuwingen, die op een of andere manier uitgaan van (geleid) onderzoekend leren, uitwijzen dat de experimentele cognitieve leeropbrengst op zijn best niet onderdoet voor de traditionele, nu juist te verklaren is door onder andere dit werkgeheugen-effect?

Laten we, vanuit deze kritiek, nog eens terugkijken naar de eerder gegeven protocolfragmenten. Constructivisten interpreteren die trots, en terecht, als voorbeelden van hoe leerlingen bezig zijn met het construeren van eigen betekenissen, die ze juist daarom dus ook goed zullen begrijpen. Maar als je met de ogen van de critici kijkt, moet je constateren dat het proces vaak moeizaam gaat, de constructiestapjes klein zijn en dan nog meestal gezet worden door een toonaangevende leerling, de rest aarzelend volgt en het resultaat vaak nog te wensen overlaat. Ofwel, is dit ook een efficiënte weg naar het je eigen maken en begrijpen van de subtiliteiten van de te leren fysische begrippen? Misschien kunnen we de schijnbare paradox tussen de effecten van directe instructie en ‘minimal guidance’ benaderingen begrijpen, als we ons realiseren dat in alle gevallen leerlingen toch zelf hun nieuwe kennis moeten construeren. Alleen het proces waarbinnen dat plaatsvindt is verschillend. In het geval van directe instructie krijgt dat construeren niet zozeer aandacht in het instructieproces zelf, maar gebeurt dat vooral in het hoofd van de leerling. Natuurlijk al tijdens de gestructureerde informatieverstrekking, maar vooral bij de (diepe) verwerking achteraf moet de leerling wat dat betreft nadrukkelijk zelf aan de slag. En de vraag is of de betrokkenheid van de leerling groot genoeg zal zijn om dat steeds te volbrengen. Al weet hij in ieder geval wel waar hij op moet uitkomen! Door goede aansluiting van deze informatie bij de voorkennis en door adequate feedback tijdens de verwerking kan de gewenste begripsvorming gestimuleerd en het ontstaan van misconcepties geminimaliseerd worden. We hebben hiervan een aantal voorbeelden gezien (ook al gaan de critici hieraan voorbij). In het geval van ‘guided inquiry’ vindt de informatieverschaffing, constructie en ver-

werking veel meer plaats in kleine op elkaar afgestemde stapjes, die er op gericht zijn het te doorlopen constructietraject beter behapbaar te maken voor de leerling. Terwijl de crux van deze stappen, zoals we gezien hebben, nu juist is dat ze zo groot (of klein) moeten zijn dat de leerlingen ze ook echt kunnen maken. Zo verliest de kritiek van Kirschner et al. een groot deel van zijn relevantie. Ofwel, die ‘minimal guidance’ is helemaal niet zo ‘minimal’ als zij suggereren! Alleen zou ook in deze situatie leerlingen wel een eindstructuur geboden moeten worden, die zicht geeft op wat hun constructies hadden moeten opleveren. En ook hier is de vraag hoe je leerlingen actief bij de les houdt, cruciaal!

Daarmee wordt het verschil tussen beide benaderingen, qua te verwachten cognitief leereffect, veel minder groot. Wat resulteert is dus vooral dat de onderwijsvisie de keuze dient te bepalen en niet zozeer het veronderstelde verschil in leereffect. Voor veel docenten geeft het ‘natuurkundig bezig zijn met leerlingen’ de doorslag, ook al wordt daarmee, volgens de critici, nu juist de epistemologie ten onrechte leidinggevend voor de didactiek en verward met de pedagogie. Het feit dat uit internationaal vergelijkend onderzoek van het natuurkundeonderwijs bekend is dat andere landen, met name uit Oost-Azië, steeds hoger scoren dan ‘onze’ Westerse landen, heeft daarop ook geen invloed. Immers, wij zouden er niet aan moeten denken het strakke gedisciplineerde en competitieve onderwijs van die landen hier over te nemen. Er is dus kennelijk meer belangrijk dan cognitieve leeropbrengst alleen. Bijvoorbeeld de affectieve leeropbrengst, om maar één voorbeeld te noemen. En is er ook niet zoiets als een algemeen pedagogisch klimaat, waarin leerlingen opgroeien en waarbinnen het onderwijs moet passen? Kortom, de vraag naar een beste natuurkundedidactiek laat zich in absolute zin eigenlijk nauwelijks beantwoorden.

De beschreven kritiek lijkt zich vooral te richten op *kennisvererving*. Maar hoe staat het eigenlijk met de vaardigheden die tegenwoordig zo centraal staan? In de natuurwetenschappen zijn die, naast algemene vaardigheden, sterk ingekleurd door nadruk te leggen op voor die wetenschappen specifieke vaardigheden als onderzoeken, ontwerpen en modelleren. Betekent dit dat we nu ook door middel van onderzoekend leren zouden moeten leren onderzoeken? Of moet ook dat gewoon door het goed uit te leggen en voor te doen? En hoe met zaken als leren ontwerpen en modelleren? Geldt die kritiek daar ook voor? Valt daar ook iets zinvols over te zeggen?

13 Leren onderzoeken, ontwerpen en modelleren

13.0 Doel

Dit hoofdstuk wil ingaan op de vraag wat we moeten verstaan onder en mogen verwachten van het onderwijzen van ‘nieuwe’ vaardigheden als onderzoeken, ontwerpen en modelleren. Wereldwijd worden deze vaardigheden gepropageerd als belangrijke vernieuwingen, al lijkt dit vooral te gebeuren vanwege het motiverende effect dat er van kan uitgaan voor leerlingen. Wat de cognitieve leeropbrengst betreft, is de zaak echter onduidelijker. En hoe onderwijs je ze eigenlijk? Is dat wel nodig voor iedereen? Dat zijn de vragen waar ik aandacht aan wil besteden, zonder overigens het definitieve antwoord te kennen.

13.1 Inleiding

“Leren door doen’ heeft in de natuurkunde een duidelijke betekenis. De commissie pleit ervoor om in het onderwijsprogramma naast aandacht voor kennis van leerlingen ook ruim aandacht te geven aan de ontwikkeling van wetenschappelijke en technische vaardigheden. In het kader van natuurwetenschappelijke geletterdheid is het doel dat leerlingen, binnen de grenzen die een schoolcurriculum daaraan stelt, inzicht krijgen in de manier hoe wetenschap werkt en hoe wetenschappelijke verklaringen tot stand komen.” Aldus NINA¹⁵⁰ in haar eindadvies. Dit vertaalt zich uiteindelijk in de eindtermen van figuur 135 in de syllabus (werkversie 2, 2010), waarbij we moeten bedenken dat dezelfde eindtermen ook voor de andere bètavakken zijn geformuleerd. Wat voor inhoudelijke overwegingen hebben nu, historisch gezien, geleid tot deze eindtermen (voor natuurkunde)? Daar wil ik kort op ingaan, temeer daar er in het programma behoorlijk wat tijd voor wordt vrijgemaakt.

We hebben gezien hoe de curriculumontwikkeling van de jaren zestig en zeventig een beslissende impuls gaf aan het gebruik van practicum, al stond dit nog vooral in het teken van veronderstelde dienstbaarheid aan begripsontwikkeling. Zo schreef de CMLN-onderbouwcommissie wel over het belang van leerlingen natuurkundig ‘werkzaam te doen zijn’, maar in het rapport van de CMLN-VWO-bovenbouwcommissie komt het woord onderzoeken niet voor! Toch werd in 1983 het praktisch schoolonderzoek ingevoerd, een belangrijke stap! Daaraan voorafgaand werd door het PLON, vanwege hun leerlinggerichtheid, echter al vergaand geëxperimenteerd met het doen van vrije onderzoekjes, al konden die nog wel allerlei vormen aannemen. Ook in andere landen was er aandacht ontstaan voor het uitvoeren van ‘investigations’, wat nog gestimuleerd werd door de opkomende aandacht voor de ‘nature of science’. De WEN sloot hierop aan met de uitbreiding van het praktisch schoolonderzoek tot de zelfstandige opdracht. *“Bij een zelfstandige opdracht kan het accent liggen op de theorie dan wel op het experiment. Een zelfstandige opdracht kan variëren van een open onderzoeksoopdracht tot het bestuderen van een of meer van de huidige keuzeonderwerpen of een ander toegestaan onderwerp. Een*

opdracht wordt periodiek of continu beoordeeld. Het accent in de beoordeling van de uitvoering van een open opdracht dient te liggen op het onderzoeksproces. Het geproduceerde antwoord is van minder belang. (...)

Een dergelijke opdracht biedt de leerling:

- *de mogelijkheid natuurkundige kennis en vaardigheden uit het kerngedeelte te integreren en ervaring op te doen met het zelfstandig verwerven van nieuwe kennis door studie en onderzoek;*
- *de gelegenheid ervaring op te doen met onderzoeks- en probleemoplossingsvaardigheden in situaties, die sterke overeenkomst hebben met situaties uit de onderzoekspraktijk;*
- *een beeld van de aard van wetenschappelijk werk;*
- *de kans aan te sluiten bij de actualiteit;*
- *de mogelijkheid een onderzoek te doen op het gebied van eigen natuurwetenschappelijke of technische interesse.*

De onderzoeksvaardigheden die in deze opdracht aangeleerd en beoordeeld worden, ontleen hun waarde binnen het onderwijs niet alleen aan vakspecifieke eisen. Het valt ook te verwachten dat ze een positieve invloed zullen hebben op de motivatie en de inzet van de kandidaat. Bovendien kunnen opdrachten gekozen worden die de kandidaten informatie verschaffen over belangrijke aspecten van een vervolgstudie.”

Daarmee zette de WEN voorzichtig een belangrijke stap, die sindsdien alleen maar verder is uitgewerkt. In deze omschrijving zijn in feite alle elementen en argumenten aanwezig die, via de praktische opdrachten en het profielwerkstuk van de Tweede Fase, uiteindelijk hebben geleid tot de onderzoekseindterm van figuur 135. Een leerling moet nu een onderzoek kunnen opzetten, uitvoeren en evalueren. Op de bijbehorende uitwerking in vaardigheden, en wat die dan betekenen, ga ik straks verder in.

Subdomein A 2.1 Onderzoeken

Eindterm

De kandidaat kan een vraagstelling in een geselecteerde context analyseren gebruik makend van relevante begrippen en theorie, vertalen in een vakspecifiek onderzoek, dat onderzoek uitvoeren en uit de onderzoeksresultaten conclusies trekken.

Subdomein A 2.2 Ontwerpen

Eindterm

De kandidaat kan een ontwerp op basis van een gesteld probleem voorbereiden, uitvoeren, testen en evalueren en daarbij relevante begrippen/theorie gebruiken

Subdomein A 2.3 Modelvorming

Eindterm

De kandidaat kan een realistische contextsituatie analyseren, inperken tot een hanteerbaar probleem, vertalen naar een model, modeluitkomsten genereren en interpreteren en het model toetsen en beoordelen.

Figuur 135. Nieuwe ‘doe-vaardigheden’ in de VWO-syllabus.

Eenzelfde ontwikkeling heeft zich voltrokken voor het technisch ontwerpen. De term ontwerpen kwam in het CMLN-VWO-rapport niet voor, maar in de jaren zeventig begon wel de aandacht voor techniek sterk naar voren te komen, zij het niet met het

hoofdaccent op ontwerpen. Technische projecten werden in eerste instantie vooral gezien als toegepaste natuurkunde voor de theoretisch ‘minder begaafden’, maar geleidelijk verschoof het accent naar techniek als doel en activiteit op zich (zie hoofdstuk 2). In ons land heeft, in de jaren zeventig/tachtig van de vorige eeuw, naast het PLON vooral het MENT-project (meisjes, natuurkunde en techniek) hierin een belangrijke rol gespeeld. Toch formuleerde de WEN nog de volgende, toen eigenlijk al achterhaalde, doelstelling: *“gebruik van natuurkundige kennis in technische toepassingen in de leefomgeving en in de samenleving en in relatie met andere wetenschappen.”* Ontwerpen werd door hen niet genoemd, ondanks de in gang zijnde ontwikkeling van ‘technische toepassingen van natuurwetenschappelijke kennis’ naar nadruk op ‘technisch ontwerpen’. In de basisvorming werd een vak Techniek opgenomen, maar dit was toch vooral nog gekoppeld aan het leren van bepaalde technische handvaardigheden. Hoewel in de Tweede Fase, ondanks een sterke lobby, een apart vak Techniek niet haalbaar bleek, werden, vooral onder invloed van projecten als Techniek 12+ en Techniek 15+, wel voor het eerst ontwerpvaardigheden opgenomen in het examenprogramma. Daarmee was het focus definitief verschoven naar technisch ontwerpen. De opname van de eindterm over ontwerpen (figuur 135) weerspiegelt alleen maar de voortzetting van deze ontwikkeling. ‘Leren ontwerpen’ is daarmee een geaccepteerde doelstelling van het natuurkundeonderwijs geworden, hoewel ik daar straks nog wel een kanttekening bij wil zetten. Ook de historie van de doelstelling ‘leren modelleren’ begint met de WEN. In dit programma is, onder het kopje ‘gebruik van de computer’, dataverwerking en modelberekening opgenomen. In het programma voor de Tweede Fase wordt pas in de programmaverantwoording vermeld dat, opnieuw onder ‘gebruik van de computer’, dit gebruik zich ook uitstrekt tot het werken met rekenmodellen. Maar het woord modelleren komt nog niet voor. Dus in dat opzicht heeft NINA een primeur. Deze opkomst van ‘leren modelleren’ heeft inhoudelijk gezien, naar mijn indruk, drie belangrijke achtergronden. In de eerste plaats is er de beschreven constructivistische aandacht voor pre- en misconcepties van leerlingen. Door deze te zien als voorbeelden van het feit dat mensen hun wereld voortdurend interpreteren met behulp van hun zich ontwikkelende mentale modellen, kwam niet alleen de aandacht op deze modellen te liggen, maar ook de vraag naar het proces van modelleren. Een tweede achtergrond is de huidige nadruk op het belang van wetenschapsfilosofie in het natuurwetenschappelijk onderwijs, wat, zoals we gezien hebben, resulteert in aandacht voor de aard van wetenschappelijke kennis in het algemeen en van wetenschappelijke modellen in het bijzonder. En ten slotte, als derde en belangrijkste achtergrond, is er de huidige beschikbaarheid van computers en programmatuur, waardoor de mogelijkheden voor het creëren en testen van numerieke modellen enorm zijn toegenomen, niet alleen in de natuurwetenschap zelf, maar juist ook in het daarop voorbereidende onderwijs. De eerste voorbeelden daarvan, daterend uit de jaren tachtig, zijn hiervoor al beschreven. De didactische verwevenheid van deze drie aspecten blijkt uit het feit dat ze in voorstellen voor onderwijsverbetering vaak samen voorkomen. Zo zou het als remedie tegen mogelijke misconcepties van leerlingen beter zijn om ze actief te betrekken in een modelleerproces, waarvoor computers uitstekende faciliteiten bieden, met als verondersteld resultaat dat leerlingen zowel beter inzicht zouden krijgen in de aard van natuurwetenschappelijke modellen, als in deze modellen zelf. Welnu, de eindterm over

modelvorming is het directe gevolg van deze actuele ontwikkeling. Resteert alleen nog de vraag: kloppen deze veronderstellingen ook en hoe geef je ze dan didactisch vorm?

Naast inhoudelijke en onderwijskundige argumenten is echter de maatschappelijke motivatie voor de toenemende aandacht voor deze vaardigheden waarschijnlijk veel belangrijker. Al eind vorige eeuw werd de zorg steeds sterker dat er te weinig belangstelling was onder leerlingen voor de keuze van bètastudies. Een zorg die eerder is toedan afgenomen en zich nu ook uitstrekt over alle technische beroepen. Zowel de overheid als het bedrijfsleven kennen het onderwijs een sleutelrol toe in het keren van deze zorgelijke trend. Ter ondersteuning van het onderwijs werden diverse initiatieven ontwikkeld, zoals Platform Bèta Techniek, Jet Net, Universum en Talentenkracht om er slechts een paar te noemen. Kenmerk was steeds dat er, in samenwerking met het hoger onderwijs en het bedrijfsleven, meer ruimte moest komen voor bèta-motiverende leerlingactiviteiten, wat, binnen de schoolcontext, al snel werd geïnterpreteerd als meer ruimte voor onderzoeks- en ontwerpactiviteiten. Scholen spelen hier graag op in, onder andere door zich, in hun strijd om de leerling, te kunnen profileren als gespecialiseerde bètaschool. Je zou kunnen zeggen dat de maatschappelijke functie van de school, wat dit betreft, steeds meer de overhand heeft gekregen op de culturele en pedagogische functies. De maatschappelijke vraag naar voldoende arbeidsspecifieke voorbereiding en opleiding, wint het van algemene cultuuroverdracht en persoonlijke ontwikkeling. Ofwel, marktwerking! Speciaal in dit geheel is het uit het niets naar boven geschoten Technasium. Op hun website lezen we: *“Het technasium koppelt denken aan doen. Niet alleen theorie, maar ook praktijk. Kennis construeren naast kennis consumeren. Via het nieuwe vak Onderzoek en Ontwerpen worden niet alleen vaardigheden ontwikkeld die in een vervolgloopbaan nodig zijn, maar wordt tevens een uitdagende, motiverende manier van onderwijs aangeboden. De leerling zit zelf achter het stuur, is ‘echt’ bezig en wordt actief betrokken in het leerproces. Via opdrachten vanuit de praktijk wordt kennis verder ontwikkeld. Leren aan de hand van vraagstukken die in de samenleving spelen als aanvulling op de theoretische kennis die is opgedaan zorgt voor meer betrokkenheid. (...) Op het technasium werken scholen samen met bedrijven en instellingen. Niet éénmalig maar structureel. Deze samenwerking levert een meerwaarde op, die door de school alleen niet georganiseerd kan worden. Door samen te werken met bedrijven en instellingen zien leerlingen hoe de praktijk van hoger opgeleide bètatechnici eruit ziet en waar zaken toe dienen.”*

Hier zien we hoe structureel geprobeerd wordt de isolatie van de school van de maatschappij, zoals beschreven in hoofdstuk 2, te doorbreken. Dit geldt ook voor een aantal van de eerder door Van Berkel (voor het chemieonderwijs) beschreven isoleringen.

Nu zijn al deze idealen natuurlijk prachtig, maar hoe zit het eigenlijk met de onderwijsbaarheid van deze eindtermen? Het zal ongetwijfeld zo zijn dat leerlingen een aantal interessante en boeiende ervaringen opdoen in hun onderzoeks- en/of ontwerpprojecten, maar is er ook sprake van een, deze ervaring overstijgende, leeropbrengst? In welke zin gaat die verder dan de exemplarische ervaringen zelf? Of moeten we deze projecten juist opvatten als een vorm van exemplarisch leren en daarmee als zodanig in zichzelf voldoende gemotiveerd? In het geval van het Technasium suggereert hun gebruik van de termen ‘junior onderzoeker/ontwerper’ in ieder geval meer dan dat. Maar wat houden die termen dan precies in? Hebben deze leerlingen een

methode geleerd op grond waarvan ze nu kunnen onderzoeken/ontwerpen? En zo ja, was dat eigenlijk wel nodig? En zo niet, wat dan wel?

Hoe dat ook precies zij, in ieder geval is het belangrijk om te komen tot een goede didactische vormgeving, omdat we anders ons doel wel eens voorbij zouden kunnen schieten, zoals moge blijken uit de volgende ontboezeming van een leerlinge die een exact vakkenpakket heeft gevolgd, maar daarna Nederlands is gaan studeren³⁹⁰. *“Toen ik in de vierde besloot exacte vakken te kiezen, deed ik dat niet alleen, zoals zo vaak gezegd wordt, om later een zo groot mogelijk keuzebereik voor vervolgstudies te krijgen. Ik koos er ook voor omdat in mij een zeker vuurtje was aangewakkerd. (...) Wij waren voor één moment die vroegste wetenschappers, die zichzelf vragen stelden en wilden weten hoe en wat en vooral waarom. (...) De werkelijkheid bleek antwoorden te hebben, voldeed zelfs aan wetmatigheden en kon worden voorspeld! Wetenschap was leven; hoe kon je leven in een wereld die je niet begrijpt? Ik moest gewoon kiezen voor de exacte vakken, zo simpel was het. Waarom laat ik dat nu allemaal in de steek? (...) Er is één ding dat een grote rol heeft gespeeld in mijn keuze: ik ben vergeten hoe het is om vragen te stellen, mijn passie voor onderzoek is verdwenen. Hoe komt dit? (...) De volgorde veranderde in formules, verklaringen (onderzoek sloegen we over) en uiteindelijk vragen. Als ik vroeg: ‘Waarom?’, kreeg ik als antwoord: ‘Kijk maar, als je dit invult in de formule, dan komt dat er uit. Daarom!’*

We moesten een eigen onderzoek doen voor natuurkunde, als deel van het examenprogramma. Leuk. Maar de eis was: kwantitatieve resultaten, dit is tenslotte VWO, dus het moet een beetje niveau hebben. Als gevolg van die eis ging iedereen half blind allerlei metingen doen, voerde een paar kunstjes uit op de rekenmachine en daar verschenen de getalletjes... Zelfs het goede initiatief van een eigen onderzoek begon bij getallen en liep uit op onbeantwoorde vragen. Nu is mijn liefde voor de wetenschap afgestompt. De verschijnselen die we probeerden te verklaren, liggen niet alleen ver van onze leefwereld (...) wat op zich geen probleem hoeft te zijn, maar worden ook nog eens op zo’n manier voorgeschoteld dat je het gevoel krijgt: ‘Waar ben ik mee bezig?’ Is het dan zo gek dat weinig mensen kiezen voor exacte vervolgstudies?”

Ook al kun je met anekdotes natuurlijk alles bewijzen (of beter gezegd, eigenlijk niets), laten we dit toch als waarschuwing meenemen bij het denken over ‘leren onderzoeken’ (of ontwerpen, c.q. modelleren). In mijn betoog wil ik drie aspecten van toenemende complexiteit onderscheiden. Zo is er het onderwijzen van veronderstelde ‘wetenschappelijke’ basisvaardigheden (methods of science), dat wil zeggen van te onderscheiden onderzoeks- en ontwerpvaardigheden; daarnaast het onderwijzen van een integrale wetenschappelijke methode/aanpak (scientific method) van/voor onderzoeken c.q. ontwerpen; en ten slotte de vraag wat het onderwijzen van een onderzoeks- c.q. ontwerpcompetentie zou kunnen inhouden.

13.2 Leren onderzoeken?

13.2.1 ‘Wetenschappelijke’ denkprocessen?

De focus op onderzoek en onderzoeksvaardigheden is, zoals we gezien hebben, natuurlijk altijd wel in meer of mindere mate aanwezig geweest in ons bètaonderwijs,

³⁹⁰ H. Meeus (1998). Het imago van het vak natuurkunde: afscheid van de bèta-kant. *NVOX*, 24(6), 343.

maar het kwam voor het eerst in alle expliciete detaillering naar voren bij het SAPA-project (zie hoofdstuk 2). Daarin werden immers expliciet procesvaardigheden, 'basic' en 'integrated process skills', onderscheiden. *"Gagné argued that prerequisite concepts and principles are obtained only through the operation of science processes, such as observing, classifying, describing, communicating, drawing conclusions, making operational definitions, formulating hypotheses, controlling variables, interpreting data and experimenting. He argued that these processes are skills used by all scientists, they are applicable to investigations in all the sciences, they can be learnt by students and be transferred across content domains."*³⁹¹

Ofwel, Gagné beschreef een aantal 'wetenschappelijke' denkprocessen, waarmee niet alleen wetenschappelijke kennis wordt verworven, maar die ook beheerst moeten worden om deze kennis überhaupt flexibel te kunnen leren. Door deze cognitieve denkprocessen te benoemen als 'scientific' wordt gesuggereerd dat ze een constituerend kenmerk zijn van wetenschappelijk denken. Maar is dat wel zo? Koertge³⁹² schreef al: *"Many elements of what is often called scientific method, such as observing carefully, keeping records, and reasoning in an orderly fashion, are as typical of the supermarket manager as of the scientist."* Millar & Driver³⁹¹ gaan exemplarisch in op enkele van deze 'scientific processes' en argumenteren als volgt: *"Clearly 'observing' is an activity in which each of us, adult or child, engages throughout our lives. In some ways, therefore, the idea that such a necessary skill needs to be taught appears strange. If a means of improving someone's powers of observation were required, we might be more inclined to recommend a class in still-life drawing than a science lesson. The key question is what (if anything) is special about scientific observation. (...) Children's ability to observe involves their learning of a conceptual framework which identifies the elements of a complex situation which are scientifically 'worth observing'. Only when the framework has been grasped is the observation possible. In fact, what we are doing in those science lessons where accurate observation plays a major role, is not to develop observation, but rather to train pupils in scientific observation, i.e. to help them come to see the situation in the way scientists find it useful and productive to see it."*

Eenzelfde redenering geldt, volgens hen, voor alle andere 'process skills', zoals bijvoorbeeld voor classificeren of hypothesen formuleren³⁹¹. *"... classifying is something humans do, from birth, and without the ability to do it we would be unable to make any sense of the world we inhabit. Seen in this light it is almost an act of arrogance to suggest that it is something which children need to be taught and that school science is a preferred medium for such instruction. It is frankly absurd to imply that we train learners to 'classify' in any general sense. What we do do is to teach the accepted scientific classifications. (...) Scientific classifications, then, involves learning the particular classifications which scientists employ and which are established as productive for pursuing scientific ends. (...) Similarly in the case of the 'process' of hypothesising, a little reflection indicates that this is also something which humans do all the time, rather than something which needs to be taught. (...) What is of interest for science education is not the development of some general ability to hypothesise, but of some insight into scientific hypothesising. Scientific hypotheses, we would suggest, are distinct only in being of a particular kind (they employ scientific concepts), and in having a particular purpose (they seek to provide general explanations about the behaviour of some parts of the natural world)."*

³⁹¹ R. Millar & R. Driver (1987). Beyond processes. *Studies in Science Education*, 14, 33-62.

³⁹² Geciteerd uit Millar & Driver: zie vorige noot.

En dit leidt dan uiteindelijk tot hun belangrijke conclusie dat *“scientific thinking is characterised not by the exercise of a particular set of ‘science processes’ but by the ‘constructs’ that are employed and the purposes which are pursued.”* En voor de veronderstelde ‘scientific processes’ geldt dan ook dat *“there is no warrant for seeing these ‘processes’ as having any special relationship to, or place within, science, but they are characteristics of logical thought in general.”*

Deze conclusies hebben niet alleen betrekking op ‘wetenschappelijk denken’, maar zijn ook bepalend voor wat we moeten verstaan onder onderzoeksvaardigheden en onder leren onderzoeken. Bijvoorbeeld, de algemene ‘vaardigheid’ van ‘een hypothese kunnen formuleren’ komt er in het dagelijks leven op neer dat je op grond van wat je van iets weet, door middel van een common-sense redenering daarover een verwachting kunt formuleren. Iets wat we allemaal prima kunnen en doen als we daarvoor een goede aanleiding hebben. De ‘onderzoeksvaardigheid’ van ‘een wetenschappelijke hypothese kunnen formuleren’, komt er, in analogie, op neer dat we op grond van de wetenschappelijke kennis die we hebben, door middel van logisch redeneren, een inhoudelijke veronderstelling kunnen formuleren. Met als doel, door de hypothese te testen, te komen tot verdere kennisontwikkeling. Kortom, deze ‘vaardigheid’ houdt, als zodanig, niets anders in dan vaardig zijn in het inhoudelijk en logisch vaardig kunnen hanteren van beschikbare theoretische kennis. Als vaardigheid ‘an sich’ is er eigenlijk niets nieuws onder de zon, wat je speciaal zou moeten leren! Geldt dit voor alle ‘onderzoeksvaardigheden’, kunnen we ons afvragen? Het is het gebruiken van natuurkundige kennis voor het beantwoorden van een natuurkundige vraagstelling, dat leerlingen moeten leren. Daarmee zijn ze niet of onvoldoende vertrouwd en dat maakt voor hen het onderzoek vreemd. Maar niet zozeer het onderzoeken zelf. Alvorens daar nader op in te gaan, wil ik me echter eerst buigen over de vraag of we niet beter direct een ‘scientific method’ kunnen onderwijzen.

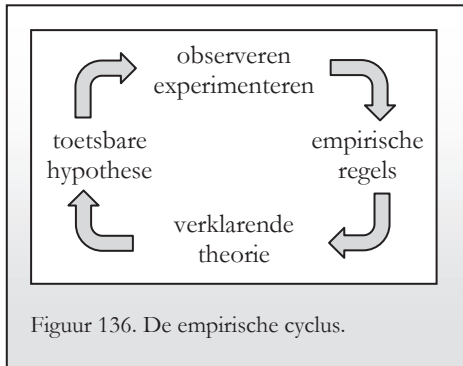
13.2.2 Een wetenschappelijke methode?

Dan zou je immers alles in één keer hebben, en ook nog netjes geordend. En dat is dan ook precies wat er is gebeurd. Het leren van onderzoeksvaardigheden (wat we daar ook onder moeten verstaan) en het leren onderzoeken (opnieuw, wat we daar ook onder moeten verstaan) gingen al snel hand in hand. Allereerst doet zich dan de vraag voor of zo’n wetenschappelijke methode voor de creatie van kennis wel bestaat en hoe die er dan uitziet. Ondanks al hun zoeken zijn de filosofen het er langzamerhand wel over eens dat dat niet het geval is. De filosoof Feyerabend³⁹³ heeft dit misschien wel het meest extreem geformuleerd: *“The idea of a method that contains firm, unchanging, and absolutely binding principles for conducting the business of science meets considerable difficulty when confronted with the results of historical research. We find then, that there is not a single rule, however plausible, and however firmly grounded in epistemology, that is not violated at some time or another. It becomes evident that such violations are not accidental events, they are not results of insufficient knowledge or of inattention which might have been avoided. On the contrary, we see that they are necessary for progress.”*

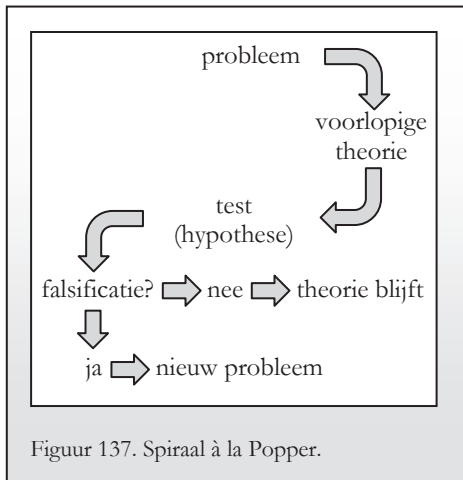
³⁹³ P. Feyerabend (1975). *Against Method*. London: Verso.

Op grond hiervan concludeert hij dat het principe ‘*anything goes*’ het enige is dat echt zou werken. Hoe dit ook precies zij, het is algemeen geaccepteerd dat er geen geldig algoritme is dat leidt tot het verkrijgen of valideren van nieuwe wetenschappelijke kennis. Onder filosofen was het daarom gebruikelijk om onderscheid te maken tussen de ‘context of discovery’ en de ‘context of justification’. Voor het eerste, het ontdekken, zou weliswaar geen methode te formuleren zijn, maar wel voor het tweede, de rationale rechtvaardiging achteraf van al verworven kennis. De achterliggende motivatie voor dat laatste betreft het demarcatieprobleem. Hoe kunnen we kennis rechtvaardigen als zijnde echte ware kennis, om daarmee een onderscheid te kunnen maken

tussen echte wetenschappelijke kennis en niet-wetenschappelijke pseudokennis. Een probleem dat tot op de dag van vandaag actueel is³⁹⁴. De bekendste rechtvaardigingswijzen, bekend onder namen als inductieve (of standaard) methode en hypothetisch-deductieve (of kritisch rationalistische) methode zijn het denken over een wetenschappelijke methode gaan bepalen, ook al zijn ze niet geslaagd in hun doel. De inductieve methode wordt vaak uitgedrukt in wat de ‘empirische cyclus’ is gaan heten (figuur 136). Een cyclus die begint bij de *objectieve* onbevangen en daarmee theorievrije waarneming. Uit deze waarnemingen wordt door inductie gekomen tot de formulering van empirische regels. Ter verklaring daarvan wordt een theorie geformuleerd, waaruit nieuwe hypothesen kunnen worden afgeleid, die weer getoetst kunnen worden door middel van nieuwe observaties. Zo groeit onze ware theoretische kennis, die zijn zekerheid ontleent aan de empirische basis. De problemen hiermee zijn talrijk, maar daar ga ik nu niet verder op in. Popper³⁹⁵ formuleerde, onder andere in reactie hierop, zijn hypothetisch-deductieve methode (figuur 137). Kennisontwikkeling begint met het willen oplossen van een probleem, waarvoor je een voorlopige theorie formuleert. Deze theorie moet falsificeerbaar zijn, dat wil zeggen er moeten toetsbare hypothesen uit af te leiden zijn, liefst zo scherp mogelijk. Als een hypothese empirisch niet gefalsi-



Figuur 136. De empirische cyclus.



Figuur 137. Spiraal à la Popper.

³⁹⁴ De Stichting Skepsis ontleent hieraan zijn bestaansrecht. Zelfs sommige excellente wetenschappers gaan in hun ogen ‘vreemd’. Eén van hun hoofdverdachten, Rupert Sheldrake, schrijft in zijn recente boek ‘The science delusion’ (London: Hodder & Stoughton, 2012) hoe bepaalde onbesprekbare, maar onbewezen, dogma’s ten grondslag liggen aan het huidige dominerende wetenschapsbeeld.

³⁹⁵ K.R. Popper (1959). *The Logic of Scientific Discovery*. London: Hutchinson.

ficeerd wordt, blijft de theorie gehandhaafd. Maar nog steeds voorlopig, zij het nu met zekere ondersteuning. Wordt de hypothese, en daarmee de theorie, wel gefalsificeerd, dan moet de theorie worden verworpen en ontstaat er een nieuw probleem. Belangrijke kenmerken van Popper's aanpak zijn de theoretische geladenheid van de waarneming (weg onbevangen waarneming) en dat theoretische kennis altijd onzeker blijft (weg ware kennis). Omdat de empirische basis bij Popper niet de rol van scheidsrechter voor kennisgroei kan vervullen, wordt deze overgenomen door intersubjectieve overeenstemming binnen het wetenschappelijk forum. Veel professionele onderzoekers herkennen zich, wat hun individuele werk betreft, in deze Popper-aanpak, alhoewel ook hiertegen vele bezwaren zijn aan te voeren. Bijvoorbeeld dat een onderzoeker niet snel op grond van een gefalsificeerde hypothese zijn theorie zal verwerpen, maar veel eerder naar andere oplossingen of zelfs uitvluchten zal zoeken. Hierdoor en door de rol van het forum wordt het menselijk aspect ingebracht in de wetenschap. En dan niet alleen als simpele uitvoerders, maar juist bij de beoordeling en acceptatie van wat als wetenschappelijke kennis mag gelden. Dit menselijk aspect werd nog veel verder uitgewerkt door Thomas Kuhn³⁹⁶, die in zijn theorie van normale wetenschap, die wordt afgewisseld door wetenschappelijke revoluties, liet zien dat ook allerlei menselijke factoren bepalen wat, op een bepaald moment, wel of niet als wetenschappelijke kennis wordt erkend³⁹⁷. Hiermee werd ook het beeld van lineaire voortgang in de groei van wetenschappelijke kennis naar het rijk der fabelen verwezen. De kritiek op Kuhn's werk heeft, naast een uitwerking in termen van de groei van kennis in de vorm van onderzoeksprogramma's, bestaande uit een harde vaststaande kern met daaromheen een zachte nog aanpasbare gordel, uiteindelijk zelfs geleid tot de sociaal-constructivistische optiek waarin wetenschap herleid wordt tot de vigerende 'narratieve' mode van het moment. Vele anderen, waaronder Ogborn (zie eerder), hebben daar vervolgens weer de vloer mee aangeveegd. Maar mede daardoor is er inmiddels wel een veel pragmatischer kijk op onderzoek ontstaan, als een speciale en vaak ook succesvolle manier om (speciale) problemen op te lossen. Eén van de kritiekpunten op deze sociologische benaderingen was trouwens dat zij verder niets te melden hadden over de structuur van wetenschappelijke theorieën. Wat dat betreft biedt de 'model-based view' misschien een perspectief dat ook didactisch vruchtbaar zou kunnen zijn. Ik kom daar later op terug.

Wat kunnen we hieruit nu concluderen? Zoals gezegd, er is geen geaccepteerde methode voor wetenschappelijke kennisverwerving, zelfs niet ter rechtvaardiging achteraf. Eigenlijk is zo'n algoritme ook niet te verwachten, want tenslotte gaat het om een in essentie creatief proces. Ook is er geen sprake meer van ware, of absoluut zekere kennis. Maar wel van een succesvolle heuristische manier om wetenschappelijke problemen aan te pakken, die leidt tot bruikbare, en vaak praktisch zekere kennis. In deze heuristische aanpak, dus ook in het handelen van de onderzoeker, kunnen overigens

³⁹⁶ T.S. Kuhn (1970). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: CUP.

³⁹⁷ Wie mocht denken dat onze mooie natuurkunde niet onderhevig is aan dit soort sentimenten, leze het boek van Lee Smolin: *The Trouble with Physics: The Rise of String Theory, the Fall of a Science, and What Comes Next*. (Houghton Mifflin, 2006).

alle afzonderlijke elementen uit de rechtvaardigingscycli wel degelijk hun rol spelen. Echter niet in een voorgeschreven vaste volgorde, maar, afhankelijk van de specifieke onderzoekssituatie, op een veelal vanzelfsprekende situationele manier.

Welnu, als dat zo is, in hoeverre onderscheidt het professionele handelen van de wetenschapper zich dan nog van dat van de niet-wetenschapper? Als dat onderscheid niet meer bestaat uit het kunnen hanteren van een wetenschappelijke methode, in welke zin onderscheidt het doen van onderzoek zich dan nog van het met ‘gezond verstand’ intentioneel zoeken naar antwoorden op vragen? Want aan dat laatste hoeft je toch geen dure onderwijstijd te besteden?³⁹⁸

Toch lijkt me dat er wel degelijk verschil is tussen natuurkundig onderzoek doen en een common-sense uitvoering van onderzoek. Dat verschil zit echter niet zozeer in het wel of niet beschikbaar hebben van een onderzoeksmethode, maar veel meer in de straks te bespreken ‘wetenschappelijke houding’. Een houding die gekoppeld is aan het doel en product van natuurkundig onderzoek en aan daaruit resulterende methodologische eisen. Als we in het dagelijks leven zeggen dat we iets ‘onderzoeken’, dan gebruiken we onze common-sense kennis en pragmatische aanpak om gewoon uit te zoeken hoe iets zit. Het gaat dan meestal om het oplossen van een concreet praktisch probleem. Als er al iets gemeten moet worden, dan levert een zorgvuldige meting gewoon de ‘ware’ waarde³⁹⁹. Het doel is ook niet het streven naar algemeenheid als zodanig, integendeel zelfs. Dat is daarin geen issue, noch van de gebruikte kennis, noch van de oplossing. Daarom krijgen zaken als nauwkeurigheid, betrouwbaarheid of validiteit ook geen expliciete aandacht, anders dan dat deze op vanzelfsprekende wijze gegarandeerd zijn door de mate van adequaatheid van de gevonden oplossing.

Een veel gebruikt ‘paradigmatisch’ voorbeeld in het aanvankelijk onderwijs over onderzoek, is het oplossen van een misdrijf. Zo wordt de inhoud van de populaire NLT-startmodule over ‘Forensisch Onderzoek’ op de NLT-website, als volgt omschreven: *“Bij een onderzoek naar een misdrijf moeten allerlei disciplines aangesproken worden: natuurkunde, scheikunde, biologie en wiskunde slaan hun handen inéén om samen tot een eindresultaat te komen: het oplossen van een moordzaak.”* Hierin wordt weliswaar gebruik gemaakt van algemene wetenschappelijke kennis, maar het doel is common-sense. Het komen tot de oplossing van het misdrijf, dat wil zeggen van één specifiek, lokaal en tijdsgebonden, probleem. Zo zal een rechercheur een ‘theorie’ opstellen over wie het gedaan heeft. Een theorie die nog zeer speculatief mag zijn, maar wel liefst zo specifiek mogelijk wat motivaties, handelingen, plaats en tijd betreft van de nog onbekende dader. Kortom, zo’n theorie is precies het tegendeel van een wetenschappelijke theorie. En zo’n startmodule oriënteert leerlingen dus precies op de verkeerde manier. Immers, hét kenmerk van een natuurwetenschappelijke theorie is dat ze enerzijds zo algemeen mogelijk is, dat wil zeggen altijd en overal geldig, en anderzijds zo sterk mogelijk empirisch

³⁹⁸ Toch lezen we in het visiestuk ‘Natuurkunde leeft’ dat het onderwijs leerlingen een beeld moet geven van ‘de natuurwetenschappelijke methode’. En wordt in het ‘Basisprogramma Natuurwetenschappen’ (SLO) zelfs expliciet als eerste doelstelling geformuleerd dat ‘de leerling leert een onderzoek uit te voeren volgens de natuurwetenschappelijke onderzoeksmethode’. Wat zouden ze daar dan mee bedoelen?

³⁹⁹ F. Lubben & R. Millar (1996). Children’s ideas about the reliability of experimental data. *International Journal of Science Education*, 18, 955-968.

onderbouwd. Daarom en daarnaast moet zo'n theorie voldoen aan een aantal epistemische waarden, zoals 'recht doen aan de fenomenen', voorspellende kracht, vruchtbaarheid, falsificeerbaarheid, logische consistentie en coherentie, ontbreken van ad hoc aannamen, eenvoud, plausibiliteit, toepasbaarheid, intersubjectief getoetst en geaccepteerd. Het is dit gericht zijn op algemene kennis en verklaringen, die vraagt om een theoretische instelling. Althans, voor zover het gaat om fundamenteel wetenschappelijk onderzoek⁴⁰⁰. En het zoeken naar een methode was immers juist gericht op het verzekeren van de geldigheid, c.q. waarheid, van deze algemene theoretische kennis. Ook al kunnen we deze geldigheid methodisch niet garanderen, dat betekent nog niet dat er aan het proces van verwerving en validering geen methodologische eisen gesteld kunnen worden. De mate van zekerheid van theoriegerichte onderzoeksuitkomsten kan immers niet ontleend worden aan de praktische bruikbaarheid van het resultaat (zoals vaak in toegepast onderzoek).

Nu is het op school natuurlijk uiterst moeilijk, zo niet onmogelijk, om leerlingonderzoek authentiek te laten zijn ten aanzien van juist dit algemene aspect van theorievorming en toetsing. Haalbare onderwerpen van leerlingonderzoek zijn dan ook vaak lokaal en praktisch van karakter. Theoretisch gezien gaat het meestal om niet meer dan empirische hypothesen en generalisering. Ze moeten tenslotte voor leerlingen ook behapbaar zijn⁴⁰¹. Het onderwijsaccent ligt vaak meer op de manier van werken, het proces, dan op de inhoud en uitkomst. De WEN propageerde dat zelfs expliciet. Die manier van werken kan daardoor ook veel meer praktisch probleemoplossend van karakter zijn, zonder te hoeven voldoen aan al te strenge methodologische eisen. Dat verklaart, mijns inziens, waarom veel leerlingen zichzelf, zowel in de onderbouw⁴⁰² als de bovenbouw⁴⁰³, al behoorlijk competent vinden in het doen van onderzoek! Is dat wel terecht, kunnen we ons afvragen. Reden om nader in te gaan op hoe 'die manier van werken' er dan wel uitziet, of zou moeten zien!

13.2.3 Een wetenschappelijke benadering?

*"A scientific investigation is an open-ended task, where pupils can decide what apparatus to use and what observations or measurements to make, with the focus on scientific ways of working rather than on obtaining results to support the teaching of science content."*⁴⁰⁴ Aldus de formulering van een Attainment Target in het Engelse National Curriculum van 1991. Een formulering die ook in ons land naadloos zou passen op veel uitwerkingen in de lespraktijk, bijvoorbeeld van de toenmalige praktische opdracht. Deze Engelse eindterm was vooral gebaseerd op het werk van de APU (Assessment of Performance Unit), dat met behulp van voorbeeldtaken een soort standaard had neergezet: *"an operational definition (for*

⁴⁰⁰ Voor het vele onderzoek dat tegenwoordig in het teken van innovatie en valorisatie staat, geldt uiteraard een andere gerichtheid!

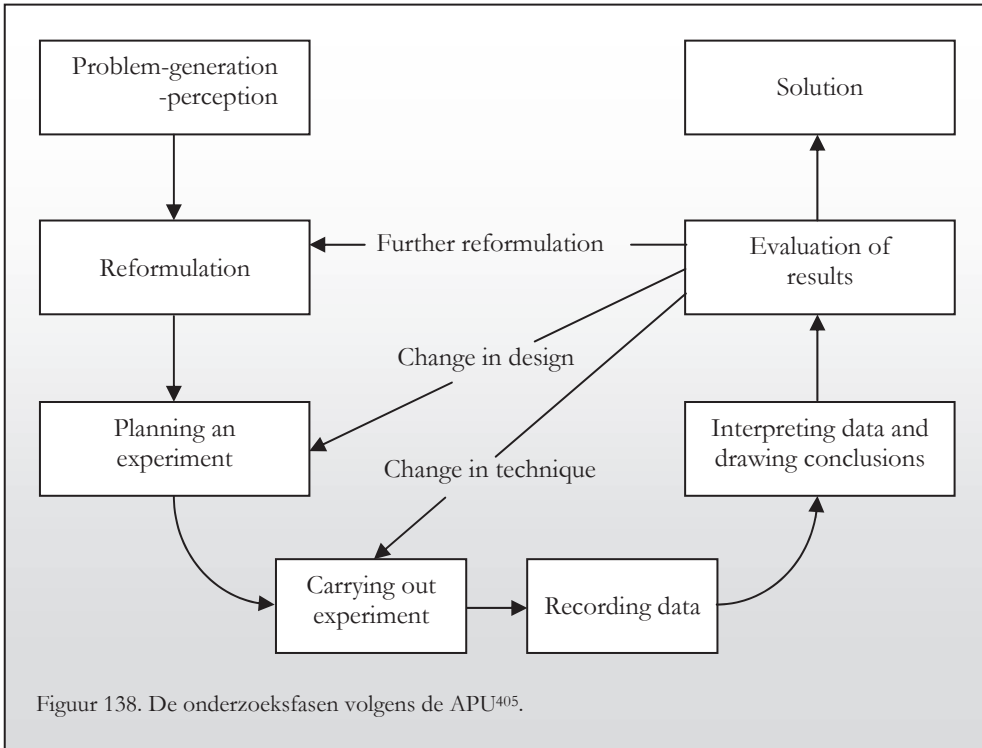
⁴⁰¹ A. Bax e.a. (1998). *Op weg naar een zelfstandig Experimenteel Onderzoek*. Enschede: SLO.

⁴⁰² A.E. van der Valk & M.F.N. van Soest (2004). *Onderzoek leren doen in de bètavakken*. Utrecht: ICO-ISOR/CD-β.

⁴⁰³ S. Hubers (2003). *Individuele leertheorieën en het leren onderzoeken in de Tweede Fase*. Eindhoven: TUE.

⁴⁰⁴ R. Millar, F. Lubben, R. Gott & S. Duggan (1994). Investigating in the school science laboratory: Conceptual and procedural knowledge and their influence on performance. *Research Papers in Education*, 9, 207-248.

school science purposes) of a 'scientific investigation'. (...) The work of the APU remains the largest single body of data on children's performance of science investigation tasks. Analysis of this data led to a general model of the stages of performance of investigations."⁴⁰⁵ Figuur 138 geeft deze fasen weer. Hierin herkennen we een gefaseerde probleemaanpak, zoals we eerder besproken hebben bij het onderwerp probleemoplossen.



Het ligt dus voor de hand om, in analogie, ook voor het onderzoeksproces een SOA-heuristiek (systematische onderzoeksaanpak) te formuleren. Ook nu weer kan zo'n heuristiek uiteraard nog met verschillende mate van detaillering geformuleerd worden. Tegelijk kan hij, na een meer of minder uitvoerige herformulering, gebruikt worden als checklist bij de beoordeling. En dat is precies wat in vele variaties veelvuldig gebeurd is^{401,406}. Zo schreef Hooymayers al in de jaren zeventig over de fasen die een rol spelen in natuurwetenschappelijk onderzoek: *“Graag wil ik u aan de hand van een reële situatie tonen hoe deze fasen gedurende de analyse van een fysisch verschijnsel werkelijk aan bod komen. Het is mogelijk om deze analyse reeds in de laagste klassen van het voorbereidend wetenschappelijk onderwijs te benutten en de leerlingen expliciet te konfronteren met de methode waarop fysici gewoonlijk hun probleem aanpakken, een methode die, gezien de explosieve groei van deze wetenschap, efficiënt lijkt te*

⁴⁰⁵ Assessment of Performance Unit (1987). *Assessing Investigations at Ages 13 and 15. Science Report for Teachers: 9*. London: DES.

⁴⁰⁶ Th.J.M. Smits (2003). *Werken aan kwaliteitsverbetering van leerlingonderzoek*. Utrecht: CD-β Press.

zijn.”⁴⁰⁷ Ook herkennen we de APU-fasen, zij het met lichte variaties, in de specificatie van de onderzoekseindterm in onderzoeksvaardigheden (figuur 139).

Specificatie eindterm Onderzoeken

De kandidaat kan

- 1 een natuurwetenschappelijk probleem herkennen en specificeren,
- 2 verbanden leggen tussen een probleemstelling en natuurwetenschappelijke kennis,
- 3 een natuurwetenschappelijk probleem herleiden tot een onderzoeksvraag,
- 4 een hypothese opstellen en verwachtingen formuleren,
- 5 een werkplan maken voor het uitvoeren van een natuurwetenschappelijk onderzoek ter beantwoording van een onderzoeksvraag,
- 6 relevante waarnemingen verrichten en (meet)gegevens verzamelen,
- 7 conclusies trekken op grond van verzamelde gegevens van uitgevoerd onderzoek,
- 8 de uitvoering van het onderzoek en de conclusies evalueren.

Figuur 139. Gespecificeerde onderzoekseindterm in termen van onderzoeksvaardigheden (uit NINA-Syllabus, werkversie 2, CvE).

We kunnen dus concluderen dat deze benadering van onderzoek als het systematisch oplossen van een probleem, kan bogen op een grote mate van instemming. Maar, is dat eigenlijk wel iets om heel tevreden over te zijn? Immers, het werk van de APU is ook onderhevig geweest aan kritiek⁴⁰⁸. “*The investigation tasks which the APU used were of the control of variables type (...) showing that students find tasks involving continuous variables appreciably more demanding than those involving categoric variables (comparisons), and that performance is strongly influenced by the science content of the investigation task and the context in which it is set (everyday or laboratory). Students’ procedural knowledge – the APU’s term for the understandings related to investigation performance – appears to account for only a small part of the observed variation in performance across tasks, with science content knowledge and informal knowledge of the context being much more significant.*”

Deze nadruk op het kunnen controleren en manipuleren van variabelen was nog een gevolg van Piaget, die dit immers als een belangrijk kenmerk van formeel operationeel denken beschouwde. Cruciaal is echter het feit dat de inhoudelijke kennis van leerlingen in belangrijke mate doorslaggevend blijkt te zijn voor hun onderzoeksuitvoering. Dit ondergraaft immers grotendeels de zin van het formuleren van onderzoeksvaardigheden volgens de gegeven procesfasen. Maar er is meer: “*A more general criticism, however, of the APU’s and later of the English National Curriculum’s approach is that it limits ‘scientific investigations’ to tasks about the interrelationships of a number of variables. Whilst the procedure of conducting and interpreting a controlled experiment is important in all the scientific and technological disciplines, there is surely more to scientific investigation than this. (...) One problem*

⁴⁰⁷ H.P. Hooymayers (1977). Kennismaking met natuurwetenschappelijke werkmethode in de onderbouw van het voorbereidend wetenschappelijk onderwijs. In: *Didactiek van de Natuurkunde*. Utrecht: Vakgroep Natuurkunde-Didactiek.

⁴⁰⁸ R. Millar (1998). Students’ understanding of the procedures of scientific enquiry. In: A. Tiberghien et al. (Eds.), *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education*. ICPE.

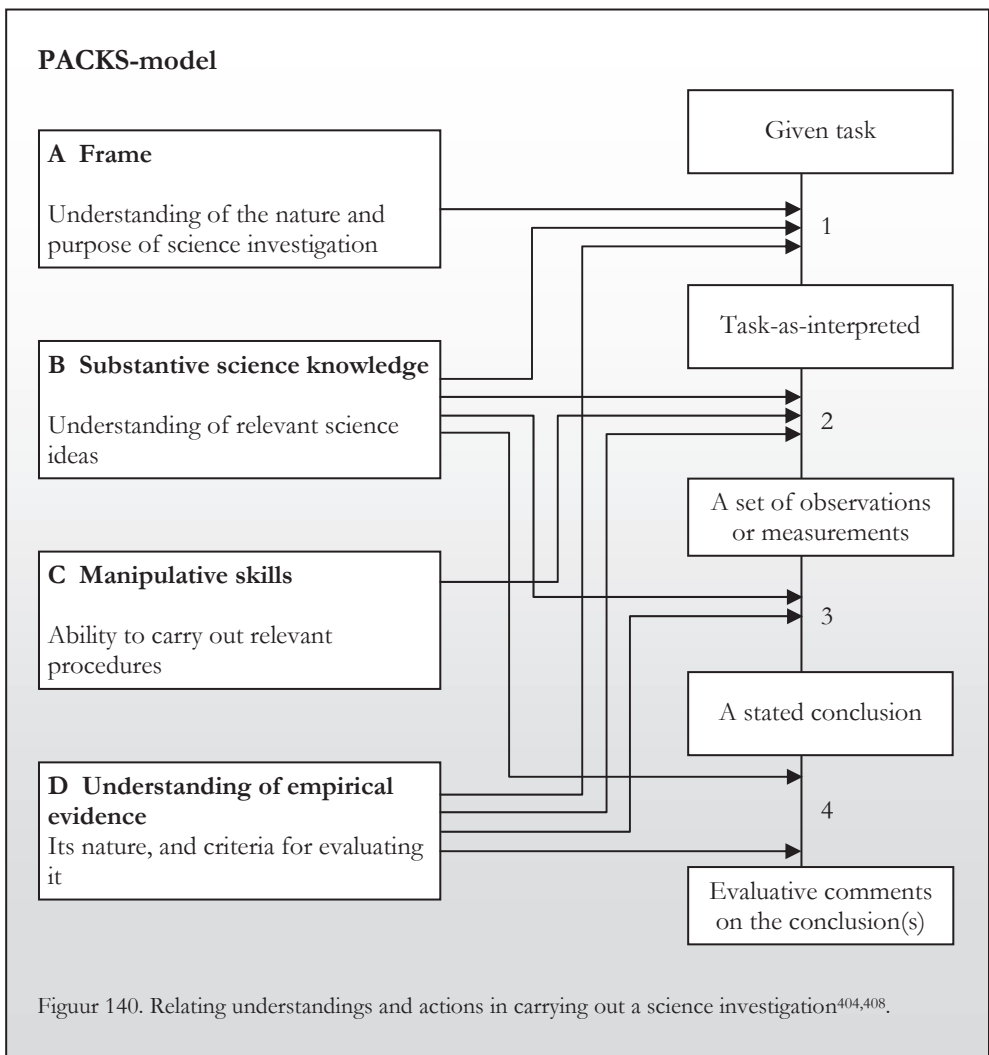
with both the 'process' and 'control of variables' approaches is that they are fundamentally 'algorithmic' in orientation: they portray science investigations as following an invariant template. They imply that there is a 'scientific method', rather than something rather looser and more flexible which we might term a 'scientific approach' to enquiry. The 'control of variables' approach achieves this by reducing the scope of what counts as a 'scientific investigation', and implicitly (perhaps unintentionally) adopting a strongly empiricist view of scientific knowledge, in which theoretical constructs (the variables deemed to be relevant) 'emerge' from the situation rather than being imposed on it by the investigator's prior understandings." Dit is fundamentele kritiek, die ook van toepassing lijkt op de vaardighedenlijst uit figuur 139. In feite komt het er, ook in deze lijst, op neer dat er toch een voorgeschreven methode lijkt te zijn, dus niks 'anything goes'! En nog wel een methode die beschrijvend onderzoek uitsluit, omdat er kennelijk te pas en te onpas hypothesen geformuleerd moeten worden. Zodat het formuleren van een natuurkundig probleem blijkbaar samenvalt met het formuleren van een meetbaar probleem, met een toetsende vraagstelling. Iets wat geen onderwerp kan zijn van kwantitatief onderzoek, is ook geen onderwerp van natuurwetenschap. Een bekende kritiek op 'ons', die ook direct te herkennen is in de kritiek van Meeus³⁹⁰. "Nonetheless", aldus opnieuw Millar⁴⁰⁸, "*it is useful, I think, to see the task of tackling a science investigation as involving a kind of search through a 'problem space'. Ideas are drawn from long term memory, triggered by aspects of the problem being tackled. In designing an investigation, the investigator chooses 'tools' from his or her 'toolkit'. (...) I proposed a model of this sort, in which procedural understanding is divided into three categories: general cognitive skills (such as observing, classifying, and so on), practical techniques (such as knowing how to use various measuring instruments) and enquiry tactics (such as knowing to repeat measurements to improve their reliability). I argue that the first category cannot be taught, but are general features of cognition which all children possess. The other categories can be taught, but their selection and linkage into a strategy for tackling any given investigation is not simply a matter of following a 'set of rules.'*" Millar doelt hier op het PACKS-model, een afkorting die staat voor 'Procedural And Conceptual Knowledge in Science' (figuur 140). Dit model bevat een aantal interessante aspecten. Om te beginnen, het is geen spoorboekje voor het doen van onderzoek, maar "*four specific aspects of understanding linked to different stages of an investigation. One of these, understanding of the relevant science content, has been shown by many studies to influence performance significantly. It is also easy to accept that ability (and skill) in using measuring equipment and other apparatus influences performance. A third category, labeled 'frame', draws attention to the influence of an understanding of the purpose of an investigation task on its interpretation by students, and hence on their actions. The fourth aspect, an understanding of the nature of empirical evidence (that is, an understanding that measurements are subject to error, of how to reduce this, and of how to assess the reliability of the data collected) had a particularly strong influence on the overall quality of students' performance on the PACKS investigation tasks."*

Wat houden de aspecten A (Frame) en D (empirical evidence) nu precies in? "The category frame refers to understanding of the nature and purpose of an investigation task. Schauble et al. writing of children's performance of investigations suggest that some children adopt an engineering approach (trying to optimize the effect of variables) in tasks where a scientific approach (trying to clarify the relationships between variables) is required⁴⁰⁹. We see the approaches as indicating the

⁴⁰⁹ L. Schauble, L.E. Klopfer & K. Raghavan (1991). Students' transition from an engineering model to a science model of experimentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 859-882.

'frame' within which the child views the task. In addition to the engineering and scientific frames, we have also noted two less sophisticated frames, which we term modeling (trying to make an object or make a phenomenon happen) and engagement (manipulation of the available apparatus with no clear purpose).''⁴⁰⁴

Het is niet onbegrijpelijk dat een leerling een gegeven taak anders opvat dan de docent bedoelt. Juist voor een wetenschappelijk gerichte taak, als het vinden van een algemeen verband tussen twee variabelen, ligt dit voor de hand. Immers, vanuit de leefwereld gezien kan puur het vinden van zo'n verband geen doel zijn, dat komt daarin niet voor, maar het optimaliseren van een effect wel. De waarschuwing die hieruit volgt is dat, als het doel van een onderzoeksopdracht niet voldoende helder gemaakt is, leerlingen hun eigen doel creëren en het bedoelde onderzoeksproces al vanaf het begin uit de rails loopt.



Dan de categorie D: ‘understanding of evidence’. *“This refers to the understanding of criteria for assessing and evaluating the quality of empirical evidence. A very striking single feature of the case records we have collected of children’s performance of investigation tasks is that many children appear prepared to draw conclusions on the basis of evidence which we would regard as unreliable, or invalid, or both. Small differences between measured values are judged significant, single measurements are made where repeats could easily be done. Relationships and trends are confidently proposed on the basis of two data points. We believe this category of understanding plays a crucial role in determining the quality of children’s investigation performance, but its importance is insufficiently recognized. Gott and Duggan^{404,410} provide a list of ‘concepts of evidence’ – specific understandings associated with each stage of the investigation sequence. The understanding of two overarching concepts, however, appears to be crucial to performance on investigation tasks: The ideas of reliability of an observation or measurement, and of validity of a set of observations or measurement in relation to the purpose of the investigation task. (...) [Figuur 141] shows a mapping of understanding of evidence, as it has evolved during the PACKS research. It is important to emphasize that we see this as a knowledge-based domain, analogous to other science ‘content’ domains.”⁴⁰⁴*

Opnieuw, het beschreven gedrag van de leerlingen lijkt me volledig verklaarbaar vanuit de manier waarop in de leefwereld wordt omgegaan met metingen⁴¹¹. Dus dat is opnieuw een voorbeeld waarin niet zozeer sprake is van fout gedrag, als wel van het feit dat het te leren gedrag niet duidelijk is geworden, of misschien zelfs helemaal niet is onderwezen.

“A central feature of the PACKS model is that procedural understanding, in the sense in which the term has come to be used in science education, is a knowledge-based domain. It is similar to other science ‘content’ domains, in that children come to it with prior ideas, and that these ideas may need to be developed or changed through teaching. The domain of scientific evidence contains ideas which must be taught; it cannot simply be assumed that they will be ‘picked up’ through experience. First, the purpose of science investigating needs to be made clear to children, through explicit discussion and examples, rather than taken for granted. Then, children’s understanding of empirical evidence and of criteria for evaluating the quality of evidence needs to be explicitly addressed through the curriculum.”⁴⁰⁴ In een latere publicatie trekt Millar⁴⁰⁸ nog een verdergaande conclusie. Hij komt tot het interessante voorstel om ons niet langer te richten op het onderwijzen van een of andere onderzoeksstrategie of aanpak, maar dit onderwijzen vooral te focuseren op het gebruik van data bij het komen tot empirisch onderbouwde conclusies. In het voorgaande ging het steeds om de *“ability to design and execute a strategy for tackling a given investigation. It may, however, be more productive to shift the emphasis from this essentially creative aspect of investigating and on to the stage of using data as evidence to justify conclusions. The distinction is similar to that made by philosophers between the context of discovery and the context of justification of scientific knowledge. The former is much more difficult to describe and explain – indeed there may be little we can say about it at all. The same may apply to teaching students how to carry out science investigations: it may be more feasible to teach them to evaluate their data and present justifications to support conclusions, than to teach them how to tackle new tasks.”*

⁴¹⁰ R. Gott & S. Duggan (1995). *Investigative Work in the Science Curriculum*. Buckingham: OUP.

⁴¹¹ Om slechts één voorbeeld te geven: het is vaak verbazingwekkend (en ergerlijk) hoe, bijvoorbeeld, het NOS-journaal omgaat met data, hoe ze spreken van een nieuwe trend als twee getallen in twee opeenvolgende jaren (vaak relatief weinig) van elkaar verschillen.

Voorbereiding

- Begrijpen wat een duidelijke onderzoeksvraag is en hoe een dergelijke vraag is op te stellen.
- Begrijpen wat een variabele is, welke variabele moet worden gevarieerd, welke variabele moet worden gemeten en welke variabele(n) constant moet(en) worden gehouden.
- De relatie begrijpen tussen de keuze van het meetinstrument en wat je wilt gaan meten, met betrekking tot de schaalkeuze, het meetgebied, de spreiding en de nauwkeurigheid.
- Begrijpen wat een geschikte opstelling is en hoe je een geschikte opstelling bouwt voor wat je wilt gaan meten.

Uitvoering

- Begrijpen dat het herhalen van metingen noodzakelijk is voor de betrouwbaarheid.
- Begrijpen hoe je uit je metingen het gemiddelde bepaalt.

Afsluiting

- Begrijpen dat er een relatie bestaat tussen de onderzoeksgegevens en het type grafiek, en hoe je het juiste type grafiek kunt kiezen bij de onderzoeksgegevens.
- Begrijpen wat een goede conclusie is en hoe je die uit je metingen kunt trekken.
- Begrijpen dat de resultaten slechts in een beperkt gebied geldig zijn.

Evaluatie

- Begrijpen wat een valide onderzoek is en wat de relatie is met de wijze waarop het onderzoek is opgezet.
- Begrijpen wat een betrouwbaar onderzoek is en wat de relatie is met de wijze waarop de metingen zijn gedaan.

Figuur 141. Enkele 'Concepts of Evidence'. Uit: Smits⁴⁰⁶.

Samengevat, we moeten zorgen dat leerlingen beschikken over de noodzakelijke, flexibel inzetbare, 'tools', dat wil zeggen in de eerste plaats diepgaande inhoudelijke kennis zodat het doel van hun onderzoek, de hanteerbaarheid van variabelen en de interpretatie van metingen op grond daarvan duidelijk en zinvol kunnen zijn; kennis van dataverwerkingstechnieken ('foutenleer', curve-fitting, grafieken, statistiek, etc.); en kennis van instrumentele technieken (apparatuur en software). Dan hoeven we ons verder niet echt druk te maken over de inzet van die tools, dat wil zeggen over de precieze procesgang van een onderzoek, mits de leerling maar heeft geleerd voortdurend attent te zijn op de kwaliteit van zijn onderzoeksactiviteiten. Dit is bepaald geen gangbare opvatting van 'natuurkundig leren onderzoeken'. Maar voordat we die verder op haalbaarheid gaan onderzoeken, is er eerst één aspect dat hiervoor essentieel is, maar tot nu toe nauwelijks aandacht heeft gekregen. Ik doel hier op het belang van aandacht voor een wetenschappelijke of onderzoekende houding. Zelfs in het PACKS-model heeft deze houding geen expliciete plaats gekregen, hetgeen overigens begrijpelijk is voor een model uit de vroege jaren negentig van de vorige eeuw. De aandacht voor competenties, het geïntegreerde geheel van kennis, vaardigheid en houding, is immers van de jaren daarna, en dat geldt dus ook voor het idee van een onderzoekscompetentie.

13.2.4 Een wetenschappelijke houding?

“Ieder dient zich bij iedere wetenschappelijke bewering, van zichzelf of anderen, voortdurend af te vragen of die, in het licht van de beschikbare evidentie, wel correct is.” Aldus mijn eerdere omschrijving van de kern van een ‘kritische wetenschappelijke houding’. Vanuit deze houding kunnen ook de ‘concepts of evidence’ hun gewenste effect gaan hebben. Niet alleen bij de communicatie van resultaten, maar ook bij het verkrijgen daarvan, moet je je immers steeds afvragen of je manier van werken wel de meest geëigende is voor het gestelde doel⁴¹². Kun je die wel verantwoorden als, gegeven de situatie, de best mogelijke? Wetenschap is als topsport, je moet altijd streven naar de top van je kunnen! ‘Slecht’ onderzoek doen heeft geen zin, dat is zonde van de tijd en de inspanning! Niemand zit te wachten op onderzoeksresultaten die twijfelachtig zijn. Deze kritische houding wordt je niet altijd in dank afgenomen. Het betekent dat je altijd focust op dat wat (nog) niet goed is en teveel kritiek demotiveert al snel. Maar zolang nog substantiële kritiek mogelijk is, heeft het onderzoek immers nog niet het gewenste niveau bereikt. Ik denk altijd nog met zekere weemoed terug aan mijn eigen promotor, die mijn eigen manuscripten (die moesten worden geschreven met dubbele regelafstand om voldoende ruimte te bieden voor commentaar) altijd volledig blauw en rood beschreven terug gaf. Blauw waren ‘suggesties ter verbetering’, maar ik leerde al snel dat ik die toch maar gewoon moest overnemen. En rood was gewoon fout, dus dat moest over, net zolang tot het goed was. Ook al was het soms hevig slikken, één ding was ook mij duidelijk, de kwaliteit van het geheel ging daardoor steeds aanzienlijk vooruit, ook nog bij de derde of vierde versie, en dat was wat telde! Voor de academische vorming die daarvan uitging, ben ik hem altijd dankbaar gebleven! Deze kritische houding is niet alleen een individuele zaak, ze is zelfs geïnstitutionaliseerd om er voor te zorgen dat er publieke kennis ontstaat van zo groot mogelijke betrouwbaarheid. Om deze betrouwbaarheid te kunnen garanderen, heeft de academische gemeenschap haar eigen normen ontwikkeld. De wetenschaps socioloog Merton⁴¹³ heeft geprobeerd deze te beschrijven. Zijn ‘CUDOS’-normen komen in het kort op het volgende neer:

1 ‘Communalism’ – Hieronder wordt verstaan dat wetenschap niet het product is van individuen, maar van gemeenschappelijke arbeid van iedereen uit de ‘community’, en derhalve ook aan iedereen uit de community toebehoort. Daarom mag de wetenschapsbeoefenaar zijn resultaten voor niemand geheim houden. Sterker, hij dient ze zo snel mogelijk openbaar te maken, zonder daarbij overigens in onvoorzichtigheid ten aanzien van hun betrouwbaarheid te vervallen.

2 ‘Universalism’ – Wetenschap kent (en erkent) geen grenzen. Noch van geografische aard, noch van andere aard, zoals bijvoorbeeld op het gebied van geloof, ras, rang, sekse of politiek. Hieruit volgen normen als internationalisme en tolerantie.

3 ‘Disinterestedness’ – Dit wordt soms vertaald met de term ‘belangeloosheid’, wat inhoudt dat de onderzoeker geen privébelangen mag hebben bij een bepaalde uitkomst van zijn werk. Daarom is het ook belangrijk de ‘afstand tot de leek’ (de ivoren

⁴¹² Th. Smits, P.L. Lijnse & Th. Bergen (2000). Leerlingonderzoek met kwaliteit. *TD-β*, 17, 14-20.

⁴¹³ P.L. Lijnse (1985). Zijn natuurkundigen anders? *TD-β*, 3, 3-24.

R.K. Merton (1973). *The Sociology of Science: Theoretical and Empirical Investigations*. Chicago: UCP.

toren) te bewaren. Anderen spreken hier van ‘intellectuele eerlijkheid’ als norm voor de onderzoeker.

4 ‘Organised Scepticism’ – Deze eerlijkheid wordt bewaakt door de georganiseerde wederzijdse kritiek. Zoals gezegd, ieder dient zich bij iedere wetenschappelijke bewering, van zichzelf of anderen, voortdurend af te vragen of die wel correct is. Kortweg, dus, de ‘kritische wetenschappelijke houding’. Hiertoe behoort ook ‘het opschorten van je oordeel’, als je nog onvoldoende geïnformeerd bent, en anti-dogmatisme.

Nu kunt u natuurlijk zeggen dat deze normen achterhaald zijn, of in ieder geval bij lange na niet meer kloppen met de werkelijkheid. In het licht van alle recente schandalen valt dat moeilijk tegen te spreken, maar dat laat onverlet dat deze normen wel degelijk een belangrijk ideaal weergeven om naar te streven. Zo zou het moeten gaan in de wetenschap. En dat dit ideaal niet helemaal een farce is, blijkt bijvoorbeeld uit de manier waarop het academische publicatiesysteem functioneert. Een scherp schiftingsproces door anonieme deskundigen, moet bewaken dat wat ten slotte naar buiten komt ook in hoge mate betrouwbaar is en op consensus berust. En ook al gaat ook dit regelmatig fout, vanwege vriendjespolitiek, onbenul, bedrog of arrogantie, toch corrigeert het systeem zichzelf uiteindelijk meestal vanzelf!

Hoe komt het nu dat mensen zich toch aan deze normen zouden willen onderwerpen? Daarvoor is uiteraard allereerst een proces van socialisatie nodig. De gemeenschap eist aanpassing aan de normen en de opleiding moet daarvoor zorgen, wat gepaard gaat met selectie en zelfselectie. Daarnaast is er het aparte interne beloningssysteem. De wetenschappelijke producent is, in grote meerderheid, gemeten naar gangbare materialistische maatstaven, in hoge mate onbaatzuchtig. Zijn drijfveer is voornamelijk immaterieel, hij zoekt wetenschappelijke status, een overigens zeer waardevaste beloning met een opmerkelijke internationale geldigheid. Een belangrijke component daarin is ‘geestelijk vaderschap’, gepaard gaande met strijd om prioriteit, originaliteit en erkenning door collega’s, resulterend in een wetenschappelijke reputatie (blijkend uit prijzen, benoemingen, uitnodigingen en subsidies), maar ook met competitiedwang en nijd (topsport dus)! De negatieve kanten van deze topsport komen vooral naar voren in het huidige ‘publish or perish’. Er is een maniakale overlevingsdwang om te moeten publiceren, wat en hoe dan ook, wat zeker ten koste gaat van het voldoen aan de ongeschreven wetenschappelijke ethiek⁴¹⁴.

Dit roept de vraag op, wie zijn de mensen die deze topsport bedrijven (al moeten we ons wel blijven realiseren dat topsport alleen bestaat bij gratie van al diegenen die ook meedoen, maar die top niet willen of kunnen halen)? In hoeverre zijn de sociale normen van de community ook direct van toepassing op de individuele deelnemer? Zijn deze inderdaad zo ruimdenkend, open, onzelfzuchtig, bescheiden, eerlijk, objectief,

⁴¹⁴ Helaas doet deze dwang zich ook steeds meer voelen in het didactisch onderzoek. Een relevant voorbeeld daarvan is de huidige manier waarop gepubliceerd wordt over ontwikkelingsonderzoek. Zo’n onderzoek, dat zich meestal richt op de ontwikkeling van een nieuwe didactiek voor een bepaald onderwerp, bestaat noodzakelijkerwijs uit meerdere onderzoeksronden. Van tevoren weet je dat je die rondes nodig hebt voordat het resultaat ‘goed genoeg’ is. Als je dan toch het voorlopige resultaat van eerdere rondes publiceert, dan weet je dat die resultaten in feite achterhaald zijn, nog voordat ze in druk zijn verschenen. Kortom, de publicatiedwang wint het dan van de wetenschappelijke norm.

rationeel, prestatiegemotiveerd en competitief, als de sociale normen zouden suggereren? Ook daar is zelfs onderzoek naar gedaan. Eerder⁴¹³ concludeerde ik dat er inderdaad een niet te verwaarlozen hoeveelheid empirische ondersteuning is voor een zekere mate van overeenkomst tussen wat we op grond van de ‘aard van het vak’ kunnen verwachten als functionele kenmerken van de ‘aard van de natuurkundige’, en de werkelijkheid. Natuurkunde beoefenen gaat, tot op zekere hoogte, inderdaad samen met bepaalde persoonskenmerken. Deze kunnen we, samengevat, ruwweg in twee gebieden onderscheiden, namelijk kenmerken die te maken hebben met succes in het vak (zoals intelligentie, ijver, doorzetting, creativiteit, rationaliteit, etc.) en kenmerken die liggen op het gebied van sociale relaties en emotionaliteit⁴¹⁵. Op het eerste gebied ‘scoren’ natuurkundigen duidelijk beter dan op het tweede. De oorsprong van deze uitsplitsing in ‘dingoriëntatie’ en ‘persoonsoriëntatie’ lijkt vaak al in de vroege jeugd te liggen en op school vaak te worden versterkt en bevestigd. Deze kenmerken van fysici zijn ook in een recenter onderzoek nog eens bevestigd, al is de situatie gelukkig nog niet zorgelijk⁴¹⁶. *“We conclude that physicists are careful, controlled, inhibited and unsociable as a group (whether male or female), but not to an extent that could be called clinically significant. Female physicists, although appearing slightly ‘tough’ in relation to female norms, do not present a profile that could be described as masculine overall.”*

Hoe dit ook precies zij, op school ontstaat er, behalve een impliciet beeld van de natuurkunde, wel degelijk ook een impliciet beeld van de natuurkundige, dat een rol zou kunnen spelen bij, bijvoorbeeld, de profielkeuze van leerlingen. Taconis & Kessels hebben hier recent onderzoek naar gedaan, door te kijken hoe ‘echte’ bètaleerlingen hiervoor impliciet model kunnen staan, met uiterst interessante bevindingen⁴¹⁷. *“Our results indicate that Dutch students see typical peers who favour science subjects (physics/biology) as less attractive, less popular and socially competent, less creative and emotional, and more intelligent and motivated than typical peers who favour humanities subjects (economics/languages). (...) Our study has shown that Dutch students still feel that subjects from the humanities are better suited to them than science subjects. (...) As expected, we found that the actual choice of a specific academic profile could be predicted by students’ perceived similarity between their self and the respective prototypes. (...) Taken together, our findings show that the way typical peers who favour science are perceived can be linked to a specific culture of science that involves a certain way of being and possesses specific personality traits. (...) It comprises elements historically rooted or functional within classical academic scientific practice: a certain kind of masculinity (or more precisely, non-femininity), a preference for the conveying of content rather than the process of communication, a tendency to be rational and to put emphasis on rational explanation over emotional aspects of communication, a tendency to make things technically objective wherever possible, and a tendency to refrain from placing emphasis on personal presentation. Further, the perception of this culture by students drew a picture of science as ‘dull, authoritarian, abstract, theoretical, fact-oriented and fact overloaded, with little room for fanta-*

⁴¹⁵ Zo waren mijn zoon en dochter het er unaniem over eens dat je natuurkundestudenten al op grote afstand als zodanig kon herkennen. Hun nerd-achtige uiterlijk was toen (jaren negentig) nog geen positieve eigenschap. Ook hun vader vonden zij trouwens aardig passen in dat profiel!

⁴¹⁶ G.D. Wilson & C. Jackson (1994). The personality of physicists. *Personal Individual Differences*, 16, 187-189.

⁴¹⁷ R. Taconis & U. Kessels (2009). How choosing science depends on students’ individual fit to ‘science culture’. *International Journal of Science Education*, 31, 1115-1132.

...y, creativity, enjoyment, and curiosity' and at the same time as 'hard and difficult to understand'. The traits that were found in both the German and Dutch samples as typifying the science prototype fit very well into this picture.

We would like to emphasize that we are not advocating the idea that science 'by its nature' necessarily appeals to a particular kind of student whose personality just fits the subject's content and approach. However, teaching science does involve the reproduction of science culture as it is presented in the classroom. This process encompasses not only learning about science in general, it also leads to a self-selection favouring those students who feel they fit well into the science culture, since they are able to cross more easily the border demarcating science from other life worlds. For most students, however, this cultural gap seems to be quite large, which seems to add greatly to the low popularity of science, especially physics. (...) Our data indicate that a self-selection with reference to specific personality traits within a social perspective does in fact occur, and that this process of self-selection functions by self-to-prototype matching. Selection is not confined to selection on the basis of perceived or actual competence or an appreciation of the aims or activities associated with science. Our study has shown the relevance of this matching process for students' academic choices; and as these profile choices largely determine which subjects a student can enrol in at university, the perceived match of one's self and a specific domain culture has an important impact on young people's careers. In order to improve science education and to attract more students to science subjects, we need to identify successful ways that allow cultural border crossing for students with less 'science-oriented' identities."

Het is frappant te moeten constateren dat, alhoewel leerlingen zich vooral lijken te spiegelen aan prototypische 'bèta-peers', dit wel degelijk een redelijk valide manier lijkt te zijn om je keuze voor al of niet bèta mede op te baseren.

Laat ik nu terugkeren naar het natuurkundig leren onderzoeken en de rol die een wetenschappelijke houding daarin zou kunnen spelen. De Vos & Genseberger⁴¹⁸ wezen er op dat er in het onderwijs teveel nadruk lag (en mijns inziens ligt) op onderzoeksvaardigheden en te weinig op een onderzoeksattitude, waarvoor, volgens hen, vooral een als authentiek ervaren onderzoeksprobleem cruciaal is. Van der Valk c.s.^{402,419} onderscheiden in de 'onderzoekende houding' drie aspecten:

- *"willen weten of nieuwsgierigheid: in de context van technisch ontwerpen kan dit ook zijn: willen weten hoe iets werkt of iets willen maken dat werkt en dat aan bepaalde eisen voldoet. Erbij hoort ook: weten waarom je iets wilt weten of maken.*

- *willen delen: hierbij gaat het ook om het inzicht dat kennis geconstrueerd wordt door personen die met elkaar communiceren. Daarom is samenwerken tijdens een onderzoek en het rapporteren aan een 'onderzoeksforum' (dat de klas kan zijn) van belang. Ook de andere kant van het willen delen, het kennis nemen van resultaten van anderen (klasgenoten, maar ook dat wat bijvoorbeeld in boeken is vastgelegd) en erop voortbouwen is een belangrijk aspect.*

- *kritische houding: daarbij gaat het vooral om de kwaliteit van de kennis of van het ontwerp. Is het onderzoeksresultaat waar? Voldoet het ontwerp aan het programma van eisen? Belangrijke delen daarvan zijn 'zou een ander dat ook vinden?' en 'zijn mijn begrippen duidelijk, eenduidig en meet ik wat ik wil meten?'(validiteit)."*

⁴¹⁸ W. de Vos & R. Genseberger (2000). 'Onderzoek doen' in de natuurwetenschappelijke vakken. *TD-β*, 17, 4-13.

⁴¹⁹ M. Aarsen & T. van der Valk (2008). Naar een leerlijn onderzoekende houding. *NVOX*, 33, 354-356.

In het laatste aspect herken ik me, en ook in de koppeling van kwaliteit aan houding. Maar in de andere aspecten lopen, mijns inziens, methodologische en pedagogische overwegingen door elkaar. Zo wordt onderzoekers altijd een grote mate van nieuwsgierigheid toegedicht. Ik zal niet ontkennen dat zo'n globaal gevoel vaak ergens op de achtergrond aanwezig kan en zal zijn, maar het is nauwelijks bepalend voor de dagelijkse voortgang in een onderzoek. Voor de 'gewone' onderzoeker is Kuhn's puzzeloplossend gedrag, als kenmerk van normale wetenschap, veel relevanter. Je vast bijten in een interessant probleem, en dat tot een oplossing willen brengen. Het moet jouw probleem worden, zozeer zelfs dat in moeilijke momenten het 'wakker-lig-criterium' vanzelf van toepassing wordt. Er wordt tegenwoordig veel geschreven over authenticiteit, maar naar mijn idee is de enige relevante vraag in dit verband of een probleem authentiek is voor de onderzoeker. En dat maakt authenticiteit ook zo moeilijk hanteerbaar op leerlingniveau, al blijkt het niet onhaalbaar! Het tweede aspect vraagt om nuancering. Allereerst is er de methodologische eis dat individuele kennis pas wetenschappelijke publieke kennis kan worden als resultaten gepubliceerd worden en aan het forum worden voorgelegd. Dat heeft niets te maken met samenwerken tijdens een onderzoek, alhoewel dat didactisch gezien een goede werkvorm kan zijn. Ook de 'andere kant van het delen' is een methodologische eis. Als je kwaliteit wilt leveren, zul je je eerst moeten verdiepen in je onderzoeksgebied, moeten weten wat anderen wel/niet gedaan hebben, om te kunnen komen tot een relevant grensverleggend onderzoeksprobleem, zodat het zinvol is achteraf te laten zien hoe je eigen oplossing, in relatie tot het werk van anderen, tot voortgang heeft geleid. Zo werk je vaak ieder voor zich, maar kom je toch samen verder. En ook dit is op leerlingniveau uiterst moeilijk na te bootsen!

“Zeker in het voortgezet onderwijs zien we, vooral bij oudere leerlingen, vaak weinig meer van hun aanvankelijke nieuwsgierigheid terug: leerlingen zijn vooral bezig met het volgen van aanwijzingen en instructies en zijn lang niet altijd echt geïnteresseerd in het op een hoger plan brengen van hun onderzoeksvaardigheden. Wanneer leerlingen leren in een practicum situatie waarin zij door de docent opgedragen (duidelijk op leren gerichte) handelingen moeten verrichten, richten zij zich vooral op het ‘afkrijgen van de taak’. Wat wil de docent van mij?’ is dan vaak de vraag die voor hen het belangrijkste is, en niet de onderzoeksvraag, die al niet van henzelf is! Alle aandacht van de leerlingen gaat naar het leren omgaan met apparatuur en het volgen van instructies. Docenten hebben vaak meer oog voor praktische aspecten dan voor de cognitieve ontwikkeling van hun leerlingen. Er wordt in een dergelijke situatie dan ook weinig tijd besteed aan discussie en reflectie.

Het gebrek aan een duidelijk eigen leerdoel is zeker een probleem wanneer leerlingen gevraagd wordt te onderzoeken of te ontwerpen, want zowel voor de kwaliteit van het product van het onderzoek of de ontwerp opdracht als voor de kwaliteit van het leerproces is het noodzakelijk dat de leerling actief probeert de achterbalen of zijn antwoord op een onderzoeksvraag werkelijk betrouwbaar en valide is en of zijn ontwerp werkelijk het ontwerp is dat het beste voldoet aan de eisen. Om dit te bereiken moet de leerling zich werkelijk betrokken voelen bij het onderzoek of ontwerp: het gaat erom dat een leerling ook echt het antwoord op een vraag wil weten of dat hij ook echt het best mogelijke ontwerp wil maken. Hij of zij moet alleen met het best mogelijke resultaat genoegen willen nemen.” Aldus Hubers⁴²⁰, en ik kan het alleen maar met hem eens zijn, waarbij ik me realiseer dat het

⁴²⁰ S. Hubers (2004). *Onderzoeken en ontwerpen van PO naar HO in een doorlopende leerlijn*. Enschede: SLO.

zeer veel gemakkelijker is het probleem te identificeren dan het op te lossen. Gelukkig zijn er de laatste jaren wel degelijk goede pogingen gedaan om leerlingen zo authentiek mogelijk in te wijden in het leren doen van bèta-onderzoek.

13.2.5 Op weg naar een onderzoekscompetentie?

“Onderzoek doen berust op een aantal basisvaardigheden, die met geschikte praktische opdrachten kunnen worden opgebouwd”⁴²¹, aldus Carelsen. Het zal duidelijk zijn dat deze opvatting ingaat tegen al het voorgaande. Smits⁴⁰⁶ concludeert over het ‘oefenen van deelaspecten van onderzoek’ dat “*is gebleken dat deze aanpak ‘an sich’ niet effectief bijdraagt tot het leren onderzoeken.*” Als alternatieven onderscheidt hij enerzijds het geleidelijk laten toenemen van de mate van openheid van het leerlingonderzoek, en anderzijds het ‘in het diepe gooien’ van leerlingen. Deze strategie van toenemende openheid is welbekend⁴⁰¹. Gewoonlijk wordt onderscheid gemaakt tussen enkele globale aspecten van onderzoek, zoals probleemdefiniëring, uitvoering, en komen tot conclusies, waarbij voor elk aspect kan gelden dat dit open of gesloten wordt aangeboden (ofwel: docentgestuurd of leerlinggestuurd). Zo kan geleidelijk van een geheel gesloten uitvoering, gekomen worden tot een geheel open onderzoek. Smits noemt dit het ‘lineaire model’. Daarnaast beschrijft hij het ‘holistische model’, waarvoor kenmerkend is dat leerlingen hun kennis en vaardigheden steeds toepassen in een aantal complete authentieke (door de leerlingen zelf bedachte en uitgevoerde) onderzoekjes die nu in complexiteit toenemen. Kortom, een keuze tussen toenemende openheid of toenemende complexiteit, waarin Smits, in ieder geval voor de onderbouw, kiest voor het eerste. Eén van zijn argumenten is dat hij dan gericht kan werken aan toenemende aandacht voor de kwaliteit van het onderzoek.

Geïnspireerd door de ‘concepts of evidence’ heeft hij een onderzoek uitgevoerd waarin hij heeft geprobeerd, door middel van regelmatige coaching, de kwaliteit van het leerlingonderzoek ten aanzien van validiteit en betrouwbaarheid, in de onderbouwpraktijk van twee met hem samenwerkende docenten, te verbeteren. Het is interessant en leerzaam kennis te nemen van een aantal van zijn bevindingen, omdat die, denk ik, niet uitzonderlijk zijn. Zo bleken de docenten, ondanks Smits’ eigen voorkeur voor het lineaire groeimodel, fervente aanhangers van hun gebruikelijke holistische aanpak. “*Voor de docenten was het doel van leren onderzoeken de zelfstandigheid, eigen verantwoordelijkheid en het plezier van de leerlingen te stimuleren door de leerlingen de vrijheid te geven zelf hun onderwijs in te vullen. (...) Ze waren niet bereid om voor een lineaire opbouw van kennis en vaardigheden te kiezen, omdat ze dit juist als ‘onvrijheid’ voor leerlingen ervoeren. (...) Het valide en betrouwbaar zijn van onderzoek werd door de docenten beter begrepen naarmate de scholing vorderde, maar het beoogde scholingsdoel – het zodanig vormgeven van het onderwijs dat daardoor de kwaliteit van het leerlingonderzoek zou verbeteren – werd door hen op grond van hun opvattingen niet echt nagestreefd.*” Het hele idee van een onderzoekende, kritische houding kwam in de gesprekken met docenten eigenlijk niet aan de orde. Opmerkelijk was wel dat toen de onderzoeker achteraf een aantal leerlingverslagen, de hele onderbouw overdekkend, beoordeelde op grond van gespecificeerde kwaliteitscriteria, hij tot de conclusie kwam dat alle ver-

⁴²¹ F. Carelsen (2008). *Leren onderzoeken: de basis*. Ecent: <http://www.eцент.nl>

slagen daarop eigenlijk best redelijk scoorden. De ontwikkeling zat niet zozeer in groei in kwaliteit, maar veel meer in groei in fysische complexiteit (corresponderend met de holistische opzet). Dat betekent dat een leefwereldopvatting ten aanzien van ‘eerlijk vergelijken’ en ‘eerlijk meten’ kennelijk voldoende was voor een behoorlijke uitvoering van de gedane onderzoekjes. Alleen op de criteria ‘zijn de metingen herhaald en is er een meetfout opgegeven’ en ‘is er een evaluatie uitgevoerd met betrekking tot validiteit en betrouwbaarheid van het gehele onderzoek’ werd systematisch onvoldoende gescoord. En dat zijn nu juist de aspecten die een leefwereldopvatting ontstijgen. Op hun toename was nu juist het hele scholingsproces gericht! De docenten waren heel tevreden over de toename in onderzoeksvaardigheid en ook de leerlingen vonden dat ze veel geleerd hadden! Uiteindelijk concludeert Smits: *“Wij zijn er niet in geslaagd het scholingsproces zodanig vorm te geven, dat de docenten bereid en in staat waren onze visie op ‘leren onderzoeken met kwaliteit’ over te nemen en in de praktijk te brengen. Dat had niet zozeer te maken met de fasering van en de gebruikte werkvormen tijdens de scholing, als wel met het gegeven dat de docenten de kwaliteit van leerlingonderzoek niet als een probleem zagen, en daar hun eigen doelen voor leerlingonderzoek niet voor wilden inruilen. In termen van probleemstellend scholen zijn we er niet in geslaagd de kwaliteit van leerlingonderzoek tot het probleem van docenten te maken. De docenten zijn daardoor op een intuïtief didactisch niveau blijven steken, en zijn daardoor ook niet in staat gebleken de leerlingcognities op een hoger plan te brengen.”*

Van Rens & Dekkers⁴²² rapporteerden een onderzoek dat zich aan het andere eind van het spectrum lijkt te bevinden. Lineaire opbouw in toenemende openheid van onderzoekspractica in de bovenbouw, met sterke sturing van docenten en expliciete aandacht voor kwaliteitsaspecten, maar ook zij stuitten bij het ontwikkelen van deze aanpak op het probleem dat het aandacht besteden aan ‘leren onderzoeken’ voor docenten eigenlijk nog voornamelijk ‘terra incognita’ was. Al boekten zij met het beperkte aantal deelnemers in hun docentennetwerk wel goede voortgang. Dat roept uiteraard de vraag op hoe algemeen deze problematiek toen was, en of er nog meer voorbeelden zijn die zelfs beter geslaagd zijn? Ten aanzien van het eerste deel geven de onderzoeken van Van Tilburg⁴²³ en het onderzoek van Hubers⁴⁰³ nog nadere informatie, al zal deze inmiddels wel gedateerd zijn. En voor het tweede deel zullen we te rade gaan bij de onderzoeken van Schalk⁴²⁴ en vooral bij Van Rens⁴²⁵.

Ook Van Tilburg’s onderzoek (uitgevoerd in 1996) was niet echt hoopgevend. Toegespitst op onderzoeksvaardigheden, bleek dat docenten daar toen nog niet echt een beeld van hadden. Het meest genoemd werden procesvaardigheden, passend bij de eerder beschreven onderzoeksfasering. Doel en nut van het onderwijzen van deze vaardigheden bleven redelijk vaag, al was men het er wel over eens dat het om iets ‘extra’s’ ging. Om dat extra te onderwijzen waren de meeste docenten voorstander van

⁴²² E. van Rens & P. Dekkers (2000). *Leren onderzoeken – de rol van de docent. TD-β, 17, 76-94.*

⁴²³ P. van Tilburg & N. Verloop (2000). *Kennis van en opvattingen over het onderwijzen van onderzoeksvaardigheden. TD-β, 17, 60-75.*

⁴²⁴ H. Schalk (2006). *Zeker weten? Leren de kwaliteit van biologie-onderzoek te bewaken in 5 VWO.* Amsterdam: Onderwijscentrum VU.

⁴²⁵ L. van Rens (2005). *Effectief scheikundeonderwijs voor ‘leren onderzoeken’ in de tweede fase van het VWO.* Amsterdam: Onderwijscentrum VU.

aparte vakoverstijgende lessen, gericht op specifieke training in onderzoeksvaardigheden. Daarnaast waren deze docenten sterk geneigd om behoorlijk sturend op te treden bij de onderzoeksuitvoering van leerlingen. Eigenlijk hadden ze geen tijd om zich echt te verdiepen in het 'leren onderzoeken' en was hun hoop gericht op de verzorgingsinstellingen voor scholing en de ontwikkeling van daarop toegespitst lesmateriaal. Het idee van een onderzoekende houding of een te leren onderzoekscompetentie kwam, als zodanig, toen nog niet aan de orde. Het onderzoek van Hubers is van recenter datum, maar ook dat stemt desondanks niet echt vrolijk. Zo concludeert hij over zijn onderzoek onder docenten als volgt: *“Docenten lijken vooral (en meer dan leerlingen) de nadruk te leggen op een goede voorbereiding en afronding van een onderzoek. Volgens de docenten scoort de “gemiddelde” leerling nog niet erg hoog op de beheersing van de verschillende onderzoeksvaardigheden. Docenten gaven aan het moeilijk te vinden te beoordelen in hoeverre en op welk niveau leerlingen onderzoeksvaardigheden verwerven. Ook hadden zij hun twijfels of de voor onderzoek vereiste “natuurwetenschappelijke houding” wel aan te leren is. Met name de natuur- en scheikundedocenten verwachten dat leerlingen tijdens het uitvoeren van practica impliciet wat leren over onderzoek. Er lijkt bij hen geen sprake te zijn van een duidelijke leerlijn “onderzoek doen”. Ondanks de invoering van de Tweede Fase, gaven alle docenten in ons onderzoek aan sindsdien weinig tot niets geleerd te hebben over de didactiek van het leren onderzoeken.”* Kortom, ook hier ligt de nadruk op vaardigheden en niet op een verdergaande competentie. Terwijl docenten zich eigenlijk niet goed toegerust voelen voor het onderwijzen van die vaardigheden. Althans, zo was de situatie aan het begin van deze eeuw. Zou dat nu heel anders zijn?

Hubers heeft ook de situatie bij leerlingen onderzocht. Ook daarvan wil ik kort een aantal van zijn conclusies weergeven. *“Met betrekking tot het domein (leren) onderzoeken kan worden opgemerkt dat leerlingen in de eerste plaats de nadruk leggen op de kennis die het doen van onderzoek kan opleveren en minder op de mogelijkheid hun onderzoeksvaardigheden op een hoger plan te brengen. Zij hechten weinig waarde aan meer metacognitieve onderzoeksvaardigheden, zoals “nagaan hoe het beter had gekund”, “een onderwerp voor een onderzoek verzinnen” en “voorstellen doen voor verder onderzoek”. De meer concrete en uitvoerende vaardigheden “gegevens uitwerken” en “opschrijven wat je waarneemt”, worden door leerlingen duidelijk belangrijker geacht dan de (voor hen wellicht meer abstracte) metacognitieve vaardigheden. Leerlingen vinden zichzelf redelijk competent met betrekking tot de meeste onderzoeksvaardigheden. Zij geven aan het meeste moeite te hebben met de meer metacognitieve vaardigheden zoals “nagaan hoe het beter had gekund”, “een onderwerp voor een onderzoek verzinnen” en “voorstellen doen voor verder onderzoek”. Leerlingen vinden zichzelf over het algemeen het best in die vaardigheden, die zij ook het belangrijkste vinden. (...)*

Het op een hoger plan brengen van vaardigheden is bij het maken van het profielwerkstuk een belangrijk doel. Idealiter is hierbij de leerling voor een groot gedeelte verantwoordelijk voor zijn/haar eigen leerproces, terwijl de activiteiten van docenten zich richten op het faciliteren en het beoordelen van dit leerproces. We hebben in de door ons uitgevoerde onderzoeken echter gezien dat voor leerlingen het nut van onderzoeken vooral ligt in de kennis die ze hiermee kunnen opdoen en minder in de mogelijkheid die onderzoek hen biedt om hun vaardigheden op een hoger plan te brengen. Zij zijn niet gewend zich vragen te stellen omtrent de kwaliteit van de kennis die een onderzoek heeft opgeleverd en het verloop van het onderzoeksproces. Dit zien we terug in de motieven achter de onderwerpskeuze van leerlingen. Voor leerlingen is het belangrijkste doel van het profielwerkstuk dat zij “nieuwe dingen leren en begrijpen”. Het doel “nieuwe dingen leren en begrijpen” is duidelijk belangrijker dan het doel “leren hoe ik moet onderzoeken”.”

Laat ik proberen het beeld tot nu toe samen te vatten. Door de invoering van onderzoeksvaardigheden en het profielwerkstuk kwam daarop veel nadruk te liggen, maar de docenten waren daar eigenlijk niet op voorbereid. De ervaring met de praktische opdrachten van de WEN was daarvoor kennelijk onvoldoende. Het denken in termen van onderzoeksvaardigheden gaf onvoldoende houvast om daar een didactiek op te kunnen baseren. Eigenlijk is dat ook meer een beoordelingsgerichte manier van denken en dan een didactiekgerichte. Docenten bleken derhalve weinig grip te hebben op de praktijk van 'leren onderzoeken'. Zij wisten niet goed hoe je dat effectief vorm geeft en hoe je dat dan beoordeelt. Daarnaast leidde de beginnende aandacht voor onderzoekskwaliteit juist tot nog meer vragen dan antwoorden.

Voor de leerlingen was er niet zo'n probleem. Gemiddeld genomen vonden zij het doen van een eigen onderzoek wel leuk, vooropgesteld dat zij tot een hun aansprekende en uitvoerbare vraagstelling konden komen. Daar zat de bottleneck, en dat is begrijpelijk! Daarvoor moet je immers al een behoorlijke inhoudelijke kennis bezitten van je 'probleemgebied'. Daarna gingen ze vooral inhoudelijk gericht aan het werk om een antwoord te vinden op hun vraag. Ook al gaven ze daaraan meestal een eigen onbedoelde interpretatie. Dat klopt met de eerdere constatering dat inhoudelijke kennis de grootste rol speelt in een succesvolle uitvoering van een onderzoek. Om vaardigheden, als iets extra's en inhoudsoverstijgends, maakten ze zich niet druk. Dat was, vanuit hun gezichtspunt niet relevant want dat voegde niets toe aan hun uitvoering. En terecht! Hun eigen vragen waren, gemiddeld genomen, niet theoretisch gemotiveerd, konden dat ook niet zijn, maar vooral empirisch of praktisch. Het idee van een (echte) hypothese paste daardoor meestal helemaal niet in hun onderzoek, omdat dat immers een theoretisch gemotiveerde veronderstelling is die leidt tot toetsing van een (stukje) theorie. Dat was te hoog gegrepen. Als ze dan toch een hypothese moesten formuleren, was dat vaak niet meer dan een op common-sense gebaseerde verwachting en als zodanig niet relevant voor het onderzoek. Als ze op hun vraag eenmaal een antwoord gevonden hadden, waren zij klaar en tevreden. Dan was het verder mosterd na de maaltijd om nog te moeten gaan nadenken over of het ook anders, of beter had gekund. Kortom, qua uitvoering, maar vooral qua houding, kwam hun onderzoek meestal niet verder dan een uitgebreid leefwereldniveau, dat wil zeggen een uitvoering die zich redelijk vanzelf wijst, als je maar eenmaal een goede vraagstelling hebt gevonden, alhoewel wel aangevuld met geleerde technische 'tools'. Reflectie in de vorm van aandacht voor onderzoekskwaliteit, speelde, zolang zich geen expliciet probleem voordeed in de uitvoering, eigenlijk geen rol. En als zich soms wel een probleem voordeed, dan 'was de proef mislukt'. Dat kan gebeuren! Wat betreft een wetenschappelijke houding was vaak wel voldaan aan een zekere (soms zelfs grote) betrokkenheid op de vraagstelling, maar de echte kritische instelling en reflectie ontbrak grotendeels tot volledig. Kortom, er was nog ruimte en noodzaak voor verbetering.

Wat dat betreft heeft het onderzoek van Van Rens⁴²⁵ interessante nieuwe ideeën opgeleverd. Vandaar dat ik die nu, tot slot, wil behandelen. Van Rens ging uit van Popper's visie op onderzoeken, dat wil zeggen van zijn visie op het belang van een onderzoeksgemeenschap waarin een 'critical discourse' gericht op kennisgroei plaatsvindt (maar niet van zijn hypothetisch-deductieve aanpak). Daarom maakte zij ook leerlingen tot

‘onderzoekers’ binnen een (nagebootste) ‘onderzoeksgemeenschap’. De leerlingen moeten, in kritische samenspraak met elkaar, komen tot ‘nieuw’ – althans voor de leerlingen – weten en kunnen. Haar onderwijs is mede gericht op het ontwikkelen van het besef dat kennis een tentatief karakter heeft en in samenspraak met andere wetenschappers tot stand komt. *“De leerlingen gaan met betrekking tot eenzelfde onderzoeksprobleem zelf onderzoeken: (eigen) onderzoeksvragen formuleren, experimenteren, valideren, evalueren en communiceren in een cyclisch en iteratief proces waarin zij ‘willen’, ‘weten’ en ‘kunnen’ investeren in het verwerven van ‘nieuw’ weten en kunnen.”* Op grond van haar ervaringen met een eerste ronde, waarin ook de beginsituatie van leerlingen en docenten in kaart was gebracht, kwam Van Rens, in samenspraak met haar netwerkdocenten, tot de formulering van een aantal eisen waaraan een onderwijsontwerp voor ‘leren onderzoeken’ moet voldoen. Deze zijn (onder andere):

“a. het onderwijsontwerp moet de idee van een ‘onderzoeksgemeenschap’ van de leerlingen operationaliseren;

b. nauwkeurigheid, betrouwbaarheid en geldigheid (hierna afgekort tot n, b en g) moeten een belangrijke plaats in het onderwijsproces innemen;

c. met betrekking tot vakinhoudelijke kennis en empirische bewijsvoering moeten de leerdoelen worden gespecificeerd en geëxpliciteerd;

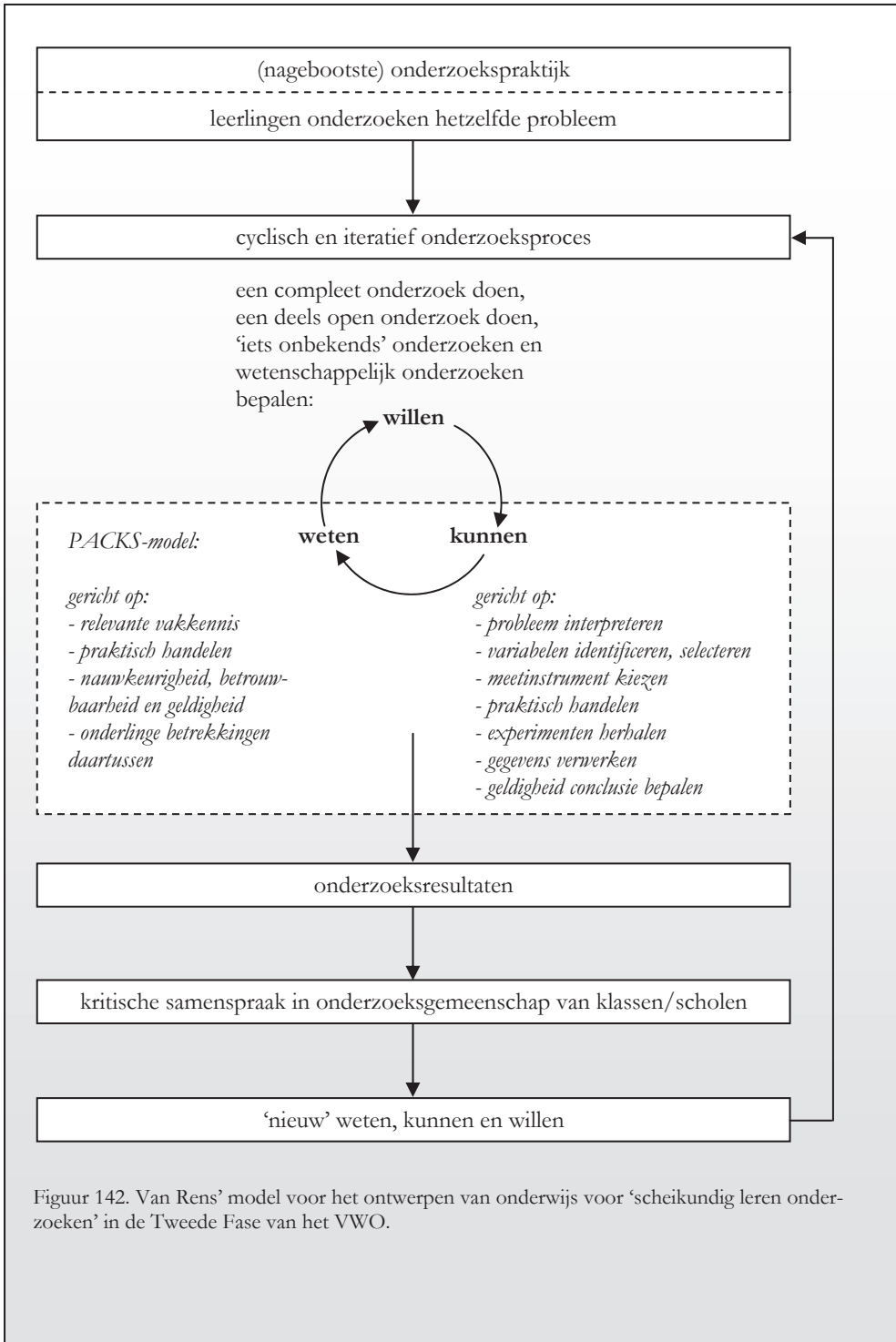
d. het ontwerp moet bijdragen aan het eigen inzicht van de docenten in de rol van n, b en g in empirische bewijsvoering, alsmede in de didactische aspecten daarvan;

e. in het ontwerp moeten strategie en inhoud van de begeleiding van de leerlingen ten aanzien van het doel van de onderzoeksoopdracht, de relevante vakinhoudelijke kennis en de empirische bewijsvoering worden vastgelegd;

f. het ontwerp moet ten aanzien van elk van de geplande activiteiten van de leerlingen bepalen waar wel of geen differentiatie nodig is.

Bij de uitwerking van deze (en andere) eisen tot feitelijk onderwijs, onderscheidde Van Rens ten aanzien van onderzoek doen een zevental ‘authentieke activiteiten’, te weten: het begrijpen van de achterliggende theorie, het voortbouwen op ander onderzoek, het identificeren van en het zorgvuldig omgaan met variabelen, het nauwkeurig meten en waarnemen, het presenteren van onderzoeksgegevens, het trekken van een geldige en aan de onderzoeksvraag gerelateerde conclusie, het schrijven van een onderzoeksrapport, het discussiëren met medeonderzoekers, en het publiceren van onderzoeksresultaten. Om nu deze activiteiten, in de context van een ‘authentieke praktijk van scheikundeonderzoekers’, te kunnen nabootsen, moesten leerlingen een ‘slecht’ voorbeeldonderzoek beoordelen op nauwkeurigheid, betrouwbaarheid en validiteit. Op grond daarvan moesten zij zelf een ‘beter’ onderzoek opzetten, uitvoeren en rapporteren in een verslag. Over deze resultaten moest een (internet)discussie plaatsvinden met leerlingen van andere scholen (de onderzoeksgemeenschap), om ten slotte op grond van deze discussie hun verslag te herschrijven in de vorm van een publicatie.

Als zodanig weerspiegelt dit een originele aanpak, waarvan de ontwerpkeren natuurlijk bestaat uit het kunnen vinden van een geschikt voorbeeldonderzoek. Dit werd gezocht door tijdschriften, gericht op scheikundeonderwijs, daarop te scannen. Haar zoektocht *“moest een artikel opleveren over een onderzoek dat de leerling niet alleen tot voorbeeld strekt, maar ook zwakheden vertoont die prikkelen tot een overeenkomstig doch beter onderzoek. De volgende selectiecriteria zijn gebruikt:*



Figuur 142. Van Rens' model voor het ontwerpen van onderwijs voor 'scheikundig leren onderzoeken' in de Tweede Fase van het VWO.

- *de scheikunde-inhoud van het artikel moet aansluiten op wat de leerling al weet, maar het onderzoek moet voor de leerling kennis omtrent 'iets onbekends' opleveren;*
- *het onderzoek moet een wetenschappelijke benadering vergen: er wordt naar een relatie tussen variabelen gezocht;*
- *het onderzoek moet tonen dat gepoogd is te voldoen aan de eisen van nauwkeurigheid, betrouwbaarheid en geldigheid, maar het onderzoek moet in dit opzicht tekort schieten;*
- *de experimentele vaardigheden moeten aansluiten bij wat de leerlingen kunnen zodat zij zich kunnen concentreren op de te ontwikkelen kenniselementen in het onderzoek."*

De zo ontworpen lessen voldeden in belangrijke mate aan de gestelde doelen. Zowel leerlingen als docenten waren over het algemeen tevreden. De leerlingen bleken veel te hebben geleerd over betrouwbaarheid, nauwkeurigheid en geldigheid, op een wijze die functioneel was en geen afbreuk deed aan hun enthousiasme. Alleen het uitwisselen van ervaringen door middel van een internetforum bleek minder spannend dan beoogd. Toch was ze er in geslaagd een belangrijke basis te leggen, waarop in volgende onderzoeken kan worden voortgebouwd. Wat ik jammer vind is dat ze de leerervaringen van de leerlingen niet heeft geëxpliciteerd tot een heuristiek, om de transfer naar volgende onderzoeken zo goed mogelijk te kunnen faciliteren.

Natuurlijk kunnen we ook allerlei kanttekeningen plaatsen bij deze uitwerking (de kritische houding aan het werk!), met name ten aanzien van de vraag in hoeverre je hier nu echt kunt spreken van een authentieke praktijk met voldoende kwaliteit. Blijft het feit dat leerlingen en docenten er met behoorlijk enthousiasme en resultaat aan gewerkt hebben en dat is toch een knap resultaat. Sterker, het is een uitwerking die het verst gaat in de richting van een scheikundige onderzoekscompetentie! Van Rens heeft inderdaad de kennisdomeinen uit het PACKS-project ook als zodanig behandeld (zie figuur 142), dat wil zeggen dat zij er zorgvuldig zorg voor heeft gedragen dat aan de vraagstelling, aan de vakkennis, aan de procedurele kennis, en aan de kennis omtrent nauwkeurigheid, betrouwbaarheid en geldigheid, voldoende aandacht werd besteed. En dat ook in expliciete zin van daarop gerichte onderwijsactiviteit, en niet alleen maar impliciet tijdens het proces. Daarmee voorkwam ze, mijns inziens, ook de eerder besproken kritiek van Kirschner et al. op 'vaag' zelfontdekkend onderwijs, die wel op andere aanpakken van leren onderzoeken (zoals beschreven door Smits) toepasbaar is. Kirschner et al. beschrijven dat het bespreken van uitgewerkte voorbeelden de beste manier is om leerlingen te helpen soortgelijke problemen aan te pakken. Het zou wel eens kunnen zijn dat de effectiviteit van het voorbeeldonderzoek van Van Rens, naar ik aanneem onbedoeld, op hetzelfde mechanisme berust. Overigens merkt Van Rens terecht op dat haar aanpak, vanwege het 'willen', een belangrijke aanvulling geeft op het PACKS-project. Blijft een vraag in hoeverre het altijd mogelijk zal zijn om geschikte voorbeeldonderzoeken te vinden, met name ook als we de transfer naar 'natuurkundig leren onderzoeken' willen maken. Zij besluit haar proefschrift trouwens met de opmerking dat 'leren onderzoeken' voor de Tweede Fase niet alleen een schone wens weerspiegelt, maar wel degelijk realistisch is. *"De 'onderzoeksvaardigheden' in de bètaleerplannen dienen evenwel te worden herzien. In de eindtermen voor 'leren onderzoeken' moeten begrip van het cyclische en iteratieve karakter van het doen van onderzoek en begrip van empirische bewijsvoering een duidelijke plaats krijgen."*

13.2.6 Afronding

Helaas is aan deze aanbeveling niet voldaan. NINA heeft de eindterm voor onderzoeksvaardigheden onverkort gehandhaafd, maar daarnaast een domein ‘Onderzoek en Ontwerp’ ingevoerd, al is dit verder niet ingevuld. Er wordt alleen gezegd dat de praktische activiteiten van leerlingen geïntegreerd moeten zijn met de kennisdomeinen, hetgeen uiteraard niet echt verbazingwekkend is, wil je kunnen spreken van natuurkundige activiteiten. Zouden zaken als, bijvoorbeeld, ‘begrip van empirische bewijsvoering’ niet juist een uitgelezen invulling kunnen zijn voor dat kennisdomein? Ik zou nog een grote stap verder willen gaan en toevoegen dat het, gegeven het belang van vakinhoudelijke kennis voor de opzet en uitvoering van een onderzoek, een verkeerde strategie is om algemene onderzoeksvaardigheden te formuleren als eindterm. Je leert immers niet onderzoeken in het algemeen, maar in de eerste plaats onderzoeken in een vak! Stokking & Van der Schaaf⁴²⁶ stelden ten aanzien van onderzoeksvaardigheden terecht het volgende: *“Dit leidt tot een belangrijke discussiepunt, namelijk of de concrete contexten onderdeel moeten uitmaken van de leerdoelen of eindtermen die we nastreven, dan wel dat we de doelen toch op een algemener niveau blijven formuleren. Kort gezegd: is de context intrinsiek onderdeel van de vaardigheid of niet?”* En dat geldt dan toch a fortiori voor de disciplinaire context? De curriculaire samenhang die gesuggereerd wordt door de vaardigheden voor alle disciplines op gelijke wijze te formuleren, is schijn. Het is immers vooral een samenhang vanuit expertoptiek, die (nog) geen functionele samenhang kan zijn voor de leerling en daarmee ook niet voor de didactiek. Resteert de vraag of het wel zo’n goed idee is om ‘leren onderzoeken’ voor alle bètaleerlingen verplicht te stellen. Omdat dit binnen elk vak de nodige tijd en aandacht vergt, is de vraag gerechtvaardigd of de aandacht voor ‘leren onderzoek doen’ (en ontwerpen), binnen een profiel, gewoon niet is doorgeslagen. En langzamerhand ten koste zal gaan van het andere doel ‘scientific literacy’, dat voor veel leerlingen, mijns inziens, belangrijker is. *“Leren door doen’ heeft in de natuurkunde een duidelijke betekenis. De commissie pleit ervoor om in het onderwijsprogramma naast aandacht voor kennis van leerlingen ook ruim aandacht te geven aan de ontwikkeling van wetenschappelijke en technische vaardigheden. In het kader van natuurwetenschappelijke geletterdheid is het doel dat leerlingen, binnen de grenzen die een schoolcurriculum daaraan stelt, inzicht krijgen in de manier hoe wetenschap werkt en hoe wetenschappelijke verklaringen tot stand komen.”* Ik herhaal nogmaals het NINA-citaat waarmee ik dit hoofdstuk begon, omdat in dit citaat een tweeslachtigheid zit opgesloten die, naar ik vermoed, NINA ontgaan is. Ik doel hier op de eerder beschreven curriculaire spanning tussen een adequate oriëntatie op toekomstige wetenschapsbeoefening en een adequate uitwerking van ‘natuurkundige geletterdheid’. Bij het eerste doel kun je beargumenteren dat een oriëntatie op ‘natuurkundig leren onderzoeken’ daar een zinvol onderdeel van is, waarin ‘leren door doen’ een rol zal spelen; voor de inzichten van het tweede doel is dat op zijn minst twijfelachtig. Het lijkt er op dat NINA van mening is dat beide doelen gelijkelijk gediend worden door te werken aan onderzoeksvaardigheden. Dat lijkt me echter een misvatting. Allereerst, ik heb net met opzet geschreven over ‘oriëntatie’ op

⁴²⁶ K.M. Stokking & M.F. van der Schaaf (2000). *Ontwikkeling en beoordeling van onderzoeksvaardigheden*. Utrecht: ISOR-rapport 00.13.

leren onderzoeken, omdat het daar mijns inziens om gaat. Ook voor diegenen die een wetenschappelijke opleiding ambiëren. Onderzoek doen leer je in het WO, dat is niet de taak van het VWO. Desalniettemin is het ook voor zo'n 'oriëntatie op' zinvol om op bescheiden wijze kennis te maken met hoe dat gaat, en daarin past 'eigen ervaring met'. Vooropgesteld dat deze ervaring vervolgens in een wijder perspectief wordt geplaatst.

Voor het doel van natuurkundige geletterdheid ligt dat anders. Dat doel houdt immers niet in dat je zelf kunt onderzoeken, maar dat je een enigszins functionerend beeld hebt gekregen van hoe natuurkundig onderzoek werkt, en wat de waarde daarvan is. Daarvoor moet het accent dus juist niet liggen op het zelf leren doen van onderzoek, maar veel meer op kennis nemen van en leren reflecteren op de resultaten en mogelijkheden van het onderzoek van anderen⁴²⁷. In de praktijk is, mede door de betrokkenheid van HO- en WO-instellingen, alle aandacht komen te liggen op de 'excellente' leerlingen die, meestal in het kader van hun profielwerkstuk, wel opteren voor een zelfstandig onderzoek. Daar is niets mis mee, maar de leerlingen die dat niet willen, moeten ook 'op maat' bediend worden. Zelfs al staat dat niet in de eindtermen!

13.3 Leren ontwerpen?

13.3.1 Inleiding en aanleiding

Toen ik een jaar of elf was, wilde ik een vlot maken om daarmee in de brede sloot voor ons huis te gaan varen. Ik had een prachtig plan, maar helaas bleef dit onuitgevoerd, omdat ik het benodigde hout niet zo snel kon vinden en ik het daardoor al gauw te lastig vond worden. Mijn oudere broers waren jaren daarvoor succesvoller

⁴²⁷ Op grond van deze overwegingen zou ik voor de bovenbouw VWO een gedifferentieerde module 'natuurkundig onderzoeken' willen voorstellen, die je zou kunnen zien als een (gedeeltelijke) inhoudelijke invulling van domein I. De volgende onderdelen zouden daarvan deel kunnen/moeten uitmaken:

- Een eerste onderzoek. Dit wordt globaal op grond van verrijkte leefwereldervaring uitgevoerd. Enkele daarvoor geschikte vraagstellingen zouden ieder door minstens twee groepjes leerlingen, met verschillende experimentele methoden, moeten worden onderzocht. Klassikale rapportages en nabespreking moeten leiden tot: explicitering van de fasen in een onderzoek en daarmee van een eerste globale heuristiek (met duidelijk onderscheid tussen uitvoering en reconstructie achteraf), en discussie over verschillende methoden voor meting van 'dezelfde' grootheden (welke waarde is het beste, en waarom?). Op grond hiervan moet de behoefte ontstaan aan meer methodologische kennis over hoe je zo 'goed' mogelijk onderzoekt.

- Bestudering en bespreking van een voorbeeldonderzoek. Door in detail een uitgewerkt voorbeeld van een onderzoek te bespreken (à la Van Rens) komen alle relevante kennisaspecten aan de orde en kan de heuristiek veel gedetailleerder worden ingevuld.

- Theorie uit empirie. Eén van de kernproblemen van experimenteel leerlingonderzoek is dat het proces van theorievorming zelden verder komt dan empirische relaties. Maar hoe kom je nu, op grond daarvan, tot het poneren van hypothetische theoretische entiteiten? Een eenvoudige demonstratie, uitgebreid met een computersimulatie, van een verstrooiingsexperiment is een voor de natuurkunde paradigmatisch voorbeeld van deze gang van zaken, zonder welke een goed beeld van moderne natuurkundige theorieën nauwelijks mogelijk is.

- Eigen werk. De toekomstige bètastudent kan zijn oriëntatie nu afronden met een eigen onderzoek, de toekomstige 'geletterde' met een reflectieve studie- en verwerkingsopdracht (historisch, filosofisch, maatschappelijk).

geweest. Zij hadden, tezamen met twee vrienden, een boot getimmerd. Helaas, op het moment dat de tewaterlating nabij was, ontdekte mijn vader hun voornemen, waarop hij hun product alvast bij voorbaat reduceerde tot wrakhout. Zo kan, denk ik, ieder van ons wel een voorbeeld geven van iets dat ooit door hem of haar ontworpen werd (of zou worden). Ofwel, technisch ontwerpen, kunnen we dat eigenlijk niet allemaal? Waarom moet dat nog onderwezen worden? En mochten we dat toch nodig vinden, geeft de ontwerpeindterm uit figuur 135 dan wel datgene weer wat relevant is? Immers, mijn voorgaande opmerkingen over algemene onderzoeksvaardigheden gelden onverkort net zo voor ontwerpvaardigheden. En voor het 'leren ontwerpen' als een speciale manier van het leren oplossen van een speciaal type problemen. Daarop wil ik nu mijn aandacht richten⁴²⁸.

Deze wat kritische benadering komt niet helemaal uit de lucht vallen. Zo schreven Hennessy et al. in een artikel over technisch ontwerpen: *"To summarize, there appears to be a conflict between the problem-solving literature and the ambitious assumptions made in technology education, particularly that of a generally applicable design and problem solving process. (...) The situated cognition literature shows that the thinking of 'experts' and lay people alike is intricately interwoven with the specific problem-solving context and sensibly adjusted to meet the situation's demands."*⁴²⁹ Kortom, precies dezelfde problematiek als bij de wetenschappelijke methode voor leren onderzoeken. Maar er is ook een groot verschil. Natuurkundig onderzoeken en natuurkundige kennis maken, als zodanig, nauwelijks deel uit van de leefwereld van de leerling. Ontwerpen wel, zelfs technisch ontwerpen, en ook 'gewone' technische kennis. Zij het natuurlijk lang niet in alle volledigheid en uitgebreidheid en ook niet voor iedereen evenveel. Maar iedereen heeft ervaring met dingen maken. Alleen als we ons concentreren op, wat ik nu ter onderscheiding maar technologisch ontwerpen zal noemen, dat wil zeggen ontwerpen waarbij op een of andere manier expliciet gebruik gemaakt wordt van natuurwetenschappelijke en technologische kennis, ontstijgen we duidelijk de leefwereld. Dus zou het kunnen dat dat misschien bedoeld wordt?

Als je alle artikelen over technisch ontwerpen die de laatste decennia zijn verschenen in de NVOX of in verslagen van WND-conferenties doorneemt en bovendien relevante websites raadpleegt, kun je niet anders dan onder de indruk raken. Er is niet alleen door enthousiastelingen een geweldige hoeveelheid werk verzet, maar dit werk heeft ook nog opvallend positieve effecten. Leerlingen zijn dolenthousiast dat ze zelf actief bezig kunnen zijn, en vragen om meer (wat natuurlijk ook veel zegt over het 'gewone' onderwijs). Docenten idem dito, al moesten velen eerst wel wat praktische drempels overwinnen. Technisch ontwerpen lijkt de redding te zijn van het bètaonderwijs, en daarmee ook van onze maatschappij (het stond letterlijk zo in de krant)! En toch krijg ik er, naast een gevoel van bewondering, ook een wat onplezierig gevoel bij. Toch een beetje het gevoel van 'déjà vu'. Ik denk dan, bijvoorbeeld, aan het 'discovery learning' in de Nuffield-projecten. Keer op keer was ik er bij als ontwikkelaars en docenten

⁴²⁸ Wegens gebrek aan deskundigheid ten aanzien van techniek in het algemeen, beperk ik me tot een aantal opmerkingen over ontwerpen in de bovenbouw HAVO/VWO.

⁴²⁹ S. Hennessy, R. McCormick & P. Murphy (1993). The myth of general problem-solving capability: Design and technology as an example. *The Curriculum Journal*, 4, 59-72.

vertelden over het prachtig ontwikkelde materiaal en de enthousiaste reacties van leerlingen. Eindelijk konden ze zelf actief zijn! Zalen vol met docenten en didactici luisterden steeds geboeid en jaloers. Dat willen en moeten wij ook! Maar uiteindelijk bleek het allemaal toch niet zo te werken als gehoopt en gedacht. Het leereffect viel toch tegen. En zo kan ik nog wel een paar voorbeelden noemen, wat bij mij de vraag oproept: hoe zit het eigenlijk met dat leereffect bij technisch ontwerpen? Leer je echt ontwerpen, of leer je gewoon een ‘dingetje X’ maken? Zijn er ook mensen die daar op enigerlei wijze een kritische vraag bij stellen? Ik ben ze niet tegengekomen op mijn leestocht.

Een aantal jaren geleden heb ik me verzet tegen de invoering van een apart vak techniek in de bovenbouw HAVO/VWO⁴³⁰. Dat is me overigens niet in dank afgenomen. Een deel van mijn argumentatie ging als volgt. *“Deze opvatting [ten aanzien van situatiegebondenheid] zet, mijns inziens, grote vraagtekens bij wat men van een apart vak techniek mag verwachten. Immers, in het onderwijs gaat het er dan om dat leerlingen steeds meer en steeds complexere (ontwerp)problemen leren oplossen, gebonden aan de daarvoor benodigde kennis en situaties. Als we al willen spreken van ontwerp- of probleemoplossingsvaardigheid, dan gaat het niet om het verwerven daarvan, maar om het leren inzetten, ontwikkelen en uitbreiden daarvan in steeds meer en complexere contexten met steeds meer en complexere kennis. Of, om het concreter te zeggen, leerlingen kunnen wel degelijk ontwerpen en problemen oplossen, dat hoeven ze niet te leren, mits ze maar voldoende vertrouwd zijn met de context. Tenslotte doen ze juist ook in de niet-schoolse situatie vaak niet anders. Wie staat vaak niet verbaasd over wat kinderen kunnen ten aanzien van zaken waarin ze werkelijk geïnteresseerd zijn? Het is veeleer de inhoudelijke en motivationele context die in het onderwijs bepaalt of een leerling zijn potentiële kunnen ook werkelijk volledig inzet, en wil uitbreiden. Dit standpunt wordt, naar ik aanneem onbedoeld, ondersteund door De Beurs⁴³¹. Deze beschrijft de ontwerpen die door leerlingen, “in het kader van het eigen experimenteel onderzoek bij natuurkunde”, zijn ingestuurd als antwoord op een door de afdeling Elektrotechniek van de TU-Delft uitgeschreven prijsvraag. Ik onderschrijf zijn mening dat “de geleverde prestaties zeker indrukwekkend genoemd mogen worden”, en ik vermoed dat praktisch elke natuurkundeleraar dit soort ontwerpen direct zou erkennen als een zinvolle invulling van de open opdracht binnen zijn vak. Het punt waar het nu echter om gaat is dat deze ontwerpen kennelijk gemaakt konden worden, natuurlijk door daartoe gemotiveerde leerlingen, zonder voorafgaande training in ontwerpvaardigheden. Maar waarom dan een vak invoeren dat speciaal op het leren daarvan gericht zou moeten zijn?”*

Sindsdien is er veel gebeurd, mijn argumentatie heeft uiteraard verder geen invloed gehad. Leren ontwerpen is nu een integraal onderdeel van de bètavakken geworden, dus laten we ons daarom wat verder verdiepen in de motiveringen die daartoe geleid hebben, alvorens al te voorbarige conclusies te trekken. Recent is een toonaangevend boek verschenen over techniekdidactiek⁴³². Daarin staan natuurlijk vele nuttige zaken, waar ik nog uitvoerig gebruik van zal maken, maar wat mij zeer verbaast is dat in alle artikelen de leerwereldervaring van leerlingen met techniek, als uitgangspunt voor het leren van en over techniek, eigenlijk volledig wordt genegeerd. Zou de enige basisregel voor goed onderwijs die echt geldig is, dat je adequaat moet aansluiten bij en voort-

⁴³⁰ P.L. Lijnse (1995). Techniek in de bovenbouw? *NVOX*, 20, 10-15.

⁴³¹ C. de Beurs (1994). Elektrotechnisch ontwerpen in 6 VWO. *Techniekkoeerier*, 42, 35-38.

⁴³² I. Frederik & G. van Dijk (Red.) (2012). *Techniekdidactiek*. Ecent: <http://www.ecent.nl>

bouwen op de aanwezige voorkennis en ervaring, nu juist niet geldig zijn voor dat vak?

13.3.2 Zijn ontwerpen en onderzoeken echt heel verschillend?

Aandacht voor techniekonderwijs is relatief nieuw, en heeft, zoals het gaat bij vernieuwingen, veel weerstand moeten overwinnen (zoals van mij!). Voor- en tegenstanders zijn in zo'n debat altijd geneigd voor- en nadelen nogal overtrokken neer te zetten. Je moet tenslotte je punt zo duidelijk en scherp mogelijk maken! Zo ook ten aanzien van vragen als wat is en waarom techniek en techniekonderwijs? De Vries noemt vier manieren om techniek te karakteriseren: als een verzameling van artefacten (apparaten, machines etc.), als een kennisdomein (iets dat je kunt studeren), als een reeks activiteiten (zoals ontwerpen, produceren) en als een eigenschap die hoort bij ons mens-zijn⁴³³. Om met het laatste te beginnen, juist techniek als behorend bij ons mens-zijn onderstreept mijn opmerkingen over de leefwereldervaring met techniek. Die kun je niet negeren in het onderwijs, al zou je dat willen. Het is beter om daar bewust op voort te bouwen, lijkt me. In feite is het beeld van 'techniek als een verzameling artefacten' een explicitering van die leefwereldervaring. Dat is wat mensen direct zien en meemaken in hun leefwereld. Dat bepaalt ook grotendeels hun kennis van en omgang met techniek. Elk artefact kun je, aldus De Vries, dual beschrijven. Enerzijds in termen van zijn fysieke eigenschappen en, anderzijds, in termen van zijn functionele eigenschappen. Beide zijn op elkaar betrokken en beide heb je nodig voor een volledig beeld. Ontwerpen is nu, aldus De Vries, het beginnen met een functionele aard en daar een fysieke aard bij bedenken, waarmee de functie gerealiseerd kan worden. De *werking* van het artefact is de verbindende schakel tussen zijn fysieke en functionele aard. En dat is wat mensen bezighoudt, al weten ze van de werking zelf vaak niet meer dan hoe je die in gang zet en reguleert. Ofwel, hoe ze het artefact zijn functie kunnen laten uitoefenen. Alhoewel artefacten een onvermijdelijke en zinvolle ingang bieden voor techniekonderwijs, lijkt me daarvoor 'techniek als kennisdomein' uiteindelijk relevanter. Ook al heb ik in het verleden juist over die kennis mijn twijfels geuit⁴³⁰. Ik verdedigde toen de stelling dat de contexten waarbinnen 'technisch ontwerpen' zou moeten plaatsvinden, in zichzelf zinvol en inhoudelijk belangrijk moeten zijn. Met als conclusie: "*Een apart vak Techniek kan, omdat het als zodanig nauwelijks een eigen 'zware' begripsmatige kern heeft, deze belangrijke inhouden niet leveren.*" Ik laat me echter graag door De Vries van mijn toenmalige ongelijk overtuigen.

"Een eenvoudige manier om wat eerste soorten kennis in de techniek te onderscheiden," aldus De Vries, *"krijgen we als we ons realiseren dat veel technische kennis betrekking heeft op artefacten. (...) Een rechttoe rechtaan eerste indeling in soorten technische kennis kan de volgende zijn:*

- *Kennis van fysieke eigenschappen (bijvoorbeeld weten dat keramiek warmte isoleert);*
- *Kennis van functionele eigenschappen (weten dat de functie van een 'alles-in-één' printer is om te printen, te scannen en te kopiëren);*
- *Kennis van de relatie tussen fysieke en functionele eigenschappen (weten dat keramiek een geschikt materiaal is om warmtedranken in te bewaren);*

⁴³³ M.J. de Vries (2012). Wat is techniek? In: I. Frederik & G. van Dijk (Red.), *Techniekdidactiek*. Ecent.

- *Kennis van gebruiksplannen (weten hoe je een wasmachine programmeert en aanzet);*
- *Kennis van de werkingseigenschappen (weten hoe de verbrandingsmotor in een auto werkt)."*

De Vries merkt op dat deze indeling onvolledig is, met name omdat 'kennis over maken' ontbreekt. Bijvoorbeeld, kennis van fundamentele ontwerpconcepten, criteria en specificaties, ontwerpstrategieën, etc. Maar ook deze kennis is vaak per artefact, of soort artefacten verschillend. Desondanks komt De Vries uiteindelijk tot de conclusie dat *"technische kennis ook weer niet beperkt is tot dit of dat ene voorwerp. Technische kennis is dus wel generaliseerbaar, maar in beperkte mate."* Ofwel, zo verkeerd was mijn gedachtegang indertijd nu ook weer niet.

Hij komt ook nog tot een andere conclusie⁴³⁴. *"Wat we uit die verschillende indelingen [van technische kennis] kunnen leren is dat er eigenschappen zijn die we in bepaalde soorten technische kennis tegenkomen en die niet voorkomen in natuurwetenschappelijke kennis."* Dit lijkt me belangrijk genoeg om nader op in te gaan, want dan zou integratie van techniek in natuurwetenschappelijk onderwijs immers tekort doen aan de aard van technische kennis. De Vries onderscheidt de volgende eigenschappen (afgewisseld met mijn commentaar):

1 *"Technische kennis is voor een deel descriptief, maar voor een ander deel normatief. Dat laatste vind je niet bij natuurwetenschappelijke kennis. Die wetenschappen beschrijven de werkelijkheid alleen zoals die is. In de techniek beschrijven we de werkelijkheid ook zoals we die zouden willen hebben. (...) Je merkt deze normativiteit ook aan het volgende. Een ingenieur kan met goed recht zeggen: 'Ik weet dat dit een goede boormachine is'. Maar het klinkt idioot als een natuurkundige zou zeggen: 'Ik weet dat dit een goed elektron is'."*

Dit is een merkwaardig argument. Niet alleen is het zo dat in de natuurkunde geen enkele theorie de werkelijkheid beschrijft zoals die is. Immers, elke theorie construeert een model van de werkelijkheid, gegeven het doel waarvoor de theorie ontwikkeld is (dat wil zeggen, het is een ontworpen werkelijkheid!). Bovendien moet die theorie voldoen aan een hele reeks epistemische normen. En alleen al de aard van natuurkundige kennis als zodanig, wat überhaupt als natuurkundige kennis kan gelden, dat wil zeggen dat het gaat om algemene, kwantitatieve, meet- en toetsbare kennis, is puur normatief. Nog afgezien van de CUDOS-normen voor haar beoefenaars. Inderdaad, de natuurkundige zal niet zeggen 'dit is een goed elektron', maar hij zal wel zeggen: dit is een goede theorie, of dit is een goed experiment! Sterker nog, bij elk onderzoeksresultaat moet hij oordelen: is dit goed genoeg om te publiceren?

2 *"Technische kennis is voor een deel geen noodzakelijkheid maar de uitkomst van een (vaak sociaal) beslissingsproces. Wat de veiligheidsnormen voor een stelling tegen een buis zijn, is geen natuurgegeven, maar een menselijke beslissing. De inhoud van wat een natuurwetenschapper 'weet', is altijd een noodzakelijkheid."*

Natuurlijk, normen zijn afspraken, maar ik mag toch hopen dat de veiligheidsnorm rekening houdt met de 'noodzakelijkheid' dat de stelling het gewicht van een aantal mensen moet kunnen dragen. Net zoals het goed zou zijn als de natuurkundigen het een keer eens zouden worden over de 'noodzakelijkheden' van de quantummechanica.

⁴³⁴ Het zij nogmaals benadrukt dat het mij hier gaat om techniekonderwijs in de bovenbouw van het algemeen vormend onderwijs. In beroepsvoorbereidend onderwijs ligt de zaak natuurlijk heel anders. Een toekomstig automonteur kan moeilijk teveel weten van de werking van een automotor!

3 *“Technische kennis is slechts ten dele in zinnen uit te drukken (...) Je ziet het ook aan het feit dat ingenieurs hun kennis vaak uitdrukken in technische tekeningen en schetsen.”*

Ook dit is geen onderscheidend criterium. Zo is bekend dat elke expert, en zeker elke natuurwetenschapper, een grote hoeveelheid ‘tacit knowledge’ heeft, die nauwelijks onder woorden te brengen is, maar wel te demonsteren (vandaar het gezelschap model). Daarnaast, zijn de formules van de natuurkundige niet als de tekening van de ingenieur?

4 *“Technische kennis is veel contextafhankelijker dan natuurwetenschappelijke kennis.”*

Ja, dat was en is precies de kern van mijn toenmalige (en huidige) bezwaar tegen een algemeen vormend vak Techniek.

5 *“Technische kennis is multidisciplinair. Een natuurkundige kan alle aspecten van de werkelijkheid buiten beschouwing laten, behalve het fysische. (...) Ze kunnen zich permitteren om afstand te nemen van de volle complexe werkelijkheid en zich beperken tot één aspect daarvan. De ingenieur daarentegen grijpt in de werkelijkheid in en krijgt dan onberoespelijk met die volle complexiteit te maken.”*

Binnen de natuurwetenschappen is er specialisatie in subdisciplines, afhankelijk van de aard van de te onderzoeken objecten en processen. Binnen de techniek is er specialisatie in subdisciplines (civiele techniek, elektrotechniek, werktuigbouwkunde, etc.), afhankelijk van de aard van de te construeren objecten en processen. Natuurlijk, deze specialisaties lopen niet parallel. Dus een technisch monodisciplinair project zal natuurwetenschappelijk multidisciplinair kunnen zijn. En omgekeerd, een natuurwetenschappelijk monodisciplinair project zal in haar technische hulpmiddelen multidisciplinair zijn. Niet alleen de natuurwetenschapper, maar ook de ingenieur reduceren de complexiteit van hun werkelijkheid, zij het volgens verschillende lijnen. En als gezegd wordt, de ontwerper richt zich op het totaal, de onderzoeker op het detail, zou ik daar aan willen toevoegen: inderdaad, maar dan wel het totaal van iets kleins, en het detail van iets groots!

Kortom, ik kan niet anders dan concluderen dat ook De Vries geneigd is een overtrokken beeld te schetsen van de ‘eigenheid’ van technische kennis. Terwijl dat helemaal niet nodig is. Natuurlijk is er verschil tussen techniek en natuurwetenschap, dat zit in de aard van hun objecten, de mate waarin je die kunt manipuleren en in de mate van algemeenheid en onderlinge relatie van hun kennis. Immers, wat technisch kan, wordt, hoe vernuftig de mens ook is, altijd zowel mogelijk gemaakt als begrensd door de wetten van de natuur. En verder moet je daar niet al te moeilijk over doen, tenslotte hebben ze elkaar meer dan nodig! In een volgend artikel trekt De Vries echter de voorgaande lijn door⁴³⁵. *“We zijn de tocht langs de verschillende mogelijke benaderingen voor techniekonderwijs geëindigd met een benadering die techniek in feite tot een onderdeel van natuurwetenschappen maakt. Als docent Techniek moet je je daar niet gelukkig mee voelen. In het vorige hoofdstuk⁴³³ hebben we gezien dat techniek echt iets anders is dan alleen de toepassing van natuurwetenschappelijke kennis, al heeft dat er zeker een plaats in. Er zijn echter een paar belangrijke kenmerken van techniek, die anders zijn dan die van de natuurwetenschappen. In de eerste plaats gaat*

⁴³⁵ M.J. de Vries (2012). Waarom techniekonderwijs? In: I. Frederik & G. van Dijk (Red.), *Techniekdidactiek*. Ecent.

natuurwetenschap over de wereld zoals die is en de techniek over de wereld zoals die zou kunnen worden. Natuurwetenschap beschrijft slechts waarom de dingen zijn zoals ze zijn. Maar de techniek stelt de vraag of de dingen ook anders zouden kunnen worden, handiger, beter, efficiënter, effectiever, enzovoorts. Daarom spelen normen zo'n belangrijke rol in de techniek. We hebben het immers voortdurend over normatieve kwesties (goed, beter, best). Natuurwetenschappers vellen geen normatief oordeel over wat ze onderzoeken. Ingenieurs doen bijna niet anders. Dat moet in het vak Techniek terug te vinden zijn. Het volstaat in de techniek niet om met een natuurwet uit te leggen waarom een apparaat werkt. We willen het verbeteren. Of we willen een heel ander apparaat bedenken dat die functie beter vervult. Het ontwerpproces moet in het vak Techniek dus een plaats hebben, waar het dat in het natuurwetenschappelijk onderzoek niet hoeft te hebben.

In de tweede plaats is het maatschappelijk belang van techniek veel directer dan dat van de natuurwetenschappen. De maatschappelijke gevolgen van natuurwetenschappen merken we vrijwel altijd via de techniek. Niet de nieuwe formule van de natuurwetenschapper heeft maatschappelijke impact, maar de nieuwe machine die mede daarop gebaseerd is.

In de derde plaats kent de techniek zijn eigen begrippen. In een internationaal onderzoek naar kernbegrippen in de techniek bleek dat zulke begrippen zijn: ontwerpen, modelleren, systemen en waarden. (...) Er is dus alle reden om onderwijs in techniek niet te reduceren tot onderwijs in natuurkunde en/of scheikunde, want dan wordt aan de eigen aard van de techniek geen recht gedaan.”

Ook hier past enige relativering. Allereerst, graag iets bescheidener, techniek kan geen andere wereld maken, maar wel veel dingen toevoegen. Daarbij spelen inderdaad ook ‘grote’ normen een rol (over de ‘kleine’ hebben we het al gehad), maar is dat niet net zo voor de natuurwetenschapper? ‘Kennis is macht’, zei Francis Bacon al eeuwen geleden. Normatiever kan haast niet en techniek is een belangrijke manier (maar niet de enige) waarop de natuurwetenschap die macht uitoefent. Veel huidig natuurwetenschappelijk onderzoek heeft als belangrijkste motief de te voorziene (technische) toepassingen. Vandaar dat al decennia lang grote vraagtekens gezet worden bij de waardenvrijheid van de natuurwetenschap en de maatschappelijke verantwoordelijkheid van de natuurwetenschapper wordt benadrukt. Ik begrijp nu dat dat allemaal niet had hoeven, de ingenieurs doen dat voor ons⁴³⁶!

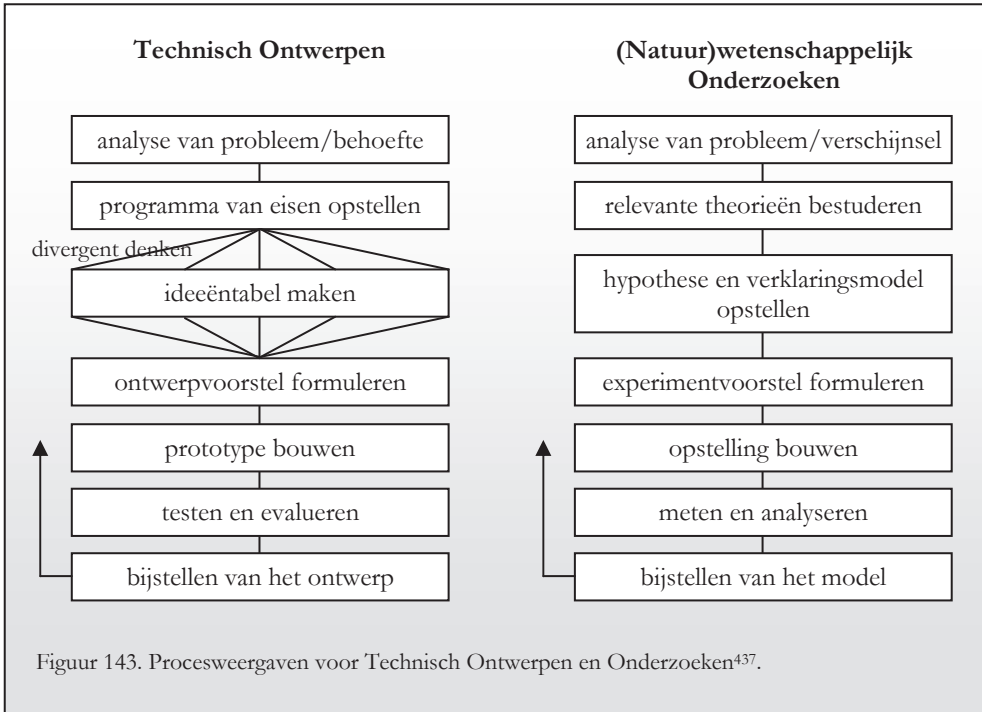
Natuurlijk, ontwerpen is cruciaal in de techniek. Maar, als we spreken over natuurwetenschappelijke kennis als een voortdurend op zijn houdbaarheid getoetste menselijke constructie, zeggen we dan iets anders dan dat deze kennis het product is van een ontwerpproces? En zijn, ten slotte, de genoemde kernbegrippen, misschien afgezien van ontwerpen, niet minstens net zoveel inhoudelijk kernbegrip van de natuurwetenschap, als ze dat zijn van de techniek?

Deze behoefte om de demarcatielijn tussen techniek en natuurwetenschap zo scherp mogelijk te trekken, komen we dus ook tegen op de onderwijswerkvloer, zoals blijkt uit figuur 143. Deze procesweergave klopt niet alleen met de ontwerpeindterm, maar ook met die voor onderzoek doen. Zoals Van der Waal opmerkt over Techniek 15+:

“Klaarblijkelijk is er de auteurs veel aan gelegen om docenten duidelijk te maken hoe ontwerpen zich tot onderzoeken verhoudt.” Een streven dat de auteurs van de NINA-module over “Tech-

⁴³⁶ Dat we daar, juist wat het ontwerpen betreft, niet blindelings op kunnen vertrouwen, blijkt bijvoorbeeld uit een boek als *Made to Break* van G. Slade (Cambridge: Harvard University Press, 2006).

nisch Ontwerpen’ dus zelfs hebben uitgebreid tot de leerlingen⁴³⁷. Alhoewel het verleidelijk is hier dieper op in te gaan, zal ik me beperken tot een paar kanttekeningen.



“De kwaliteit van een technisch ontwerp wordt vooral bepaald door de bruikbaarheid voor de doelgroep. Uitgangspunt voor technische productontwikkeling is altijd een geconstateerde – of op z’n minst vermeende – behoefte. Analooq zou je daarom kunnen zeggen dat een kwaliteitseis voor een ontwerp de ‘correspondentie met de behoeften van een opdrachtgever of een probleemhebber’ is. Waar we bij onderzoek te maken hebben met objectieve kwaliteitseisen, wordt de kwaliteit van een technisch product dus afgemeten aan waardeoordelen van de doelgroep.” Aldus De Beurs⁴³⁷. De misvatting hierin is de gedachte dat aan onderzoek objectieve kwaliteitseisen zijn te stellen. Ook voor onderzoek geldt dat de kwaliteit wordt afgemeten aan waardeoordelen van de doelgroep. Echter, deze doelgroep is nu niet de opdrachtgever (tenzij het gaat om toegepast onderzoek), maar het wetenschappelijk forum. De Beurs beschrijft dan hoe ontwerpen ‘mensgericht’ zou zijn (en daardoor aantrekkelijk voor meisjes) en, inderdaad, de opdrachten om hulpmiddelen voor bejaarden of gehandicapten te maken zijn bijzonder geslaagd. Maar ook dit heeft, zoals alles, een andere kant: “Most things are not designed for the needs of people, but for the needs of manufacturers to sell to people.”⁴³⁶

⁴³⁷ Er zijn meerdere vormen van deze procesweergaven in omloop, maar de verschillen zijn meestal niet groot.

S. van der Waal (2000). Docenten en technisch ontwerpen binnen het profiel Natuur en techniek. *TD-β*, 17, 45-59.

C. de Beurs (1998). *Ontwerpen versus Onderzoeken*. *Techniek* 15+.

De NINA-module zegt, in navolging van De Beurs: “... *het grootste en belangrijkste verschil [is] dat er bij een technisch ontwerpprobleem meerdere aanvaardbare oplossingen zijn en bij natuurwetenschappelijk onderzoek wordt ervan uitgegaan dat er maar één juiste oplossing is. Nadat voor het technisch ontwerp het programma van eisen is opgesteld, wordt er geprobeerd een groot aantal mogelijkheden te bedenken, in plaats van te streven naar één oplossing. Dit wordt ook wel divergent denken genoemd en leidt tot de ideeëntabel. Vanuit al deze mogelijkheden wordt de meest geschikte combinatie gekozen, wat het ontwerpvoorstel oplevert.*”

Wat mij onduidelijk is of het hier nu gaat om een karakterisering van de didactische uitwerking van beide processen, dus zoals die aan leerlingen wordt gepresenteerd, of dat bedoeld wordt dat het gaat om verschillen in de professionele processen. Zo zijn het ‘programma van eisen’ en de ‘ideeëntabel’, mijns inziens, vooral didactische hulpmiddelen om het ontwerpproces voor leerlingen te structureren en hanteerbaar te maken. Ze ‘dwingen’ leerlingen tot divergent denken, tot het zich inhoudelijk verdiepen in het probleem, alhoewel, naar mijn overtuiging, geen professionele ontwerper op deze manier werkt. Creativiteit kun je niet afdwingen op deze manier. Een professional ‘ziet’, na oriëntatie op de bedoeling, wat hij wil gaan maken, al stelt hij dat nog wel voortdurend bij in een proces van heen-en-weer-denken tussen mogelijke uitwerking, nieuwe eisen en uitvoering. Terwijl het onderzoeksproces in figuur 143 wel heel lineair wordt weergegeven. Niet alleen doet dat geen recht aan het feit dat elk experimenteel onderzoek in essentie ook een ontwerpproces inhoudt (van meetmethode en bijbehorende opstelling), maar daarnaast ook niet aan het feit dat je, zowel bij de hypothesevorming als bij de interpretatie van resultaten, voortdurend gedwongen bent om alle mogelijke alternatieven niet alleen te bedenken, maar ook uit te sluiten. Helaas, ook hier is het zo dat de didactische vertaling hiervan gewoonlijk een zeer verwrongen beeld oplevert. “*Deze fase, waarbij divergent en convergent denken elkaar opvolgen, vormen een duidelijke markering in het onderscheid tussen onderzoeken en ontwerpen. Duckworth (1996) toont in ‘The having of wonderful ideas’ door middel van een aantal anecdotische beschrijvingen aan dat voor onderwijs in de natuurwetenschappen en wiskunde geldt dat convergent denken beloond wordt (zo snel mogelijk dat ene juiste antwoord), terwijl divergent denken zelfs niet gestimuleerd wordt.*” Aldus Van der Waal⁴³⁷. En helaas, al is dit onderscheid principieel veel minder groot dan hier gesuggereerd wordt (zo kennen we in onderzoek immers dat ‘ene goede antwoord’ juist nog niet!), in de onderwijspraktijk zal dit, naar ik vermoed, nog steeds in belangrijke mate het geval zijn.

Hoe dat ook precies zij, de verschillen in gerichtheid tussen beide processen zouden ook verschillen in motivatie weerspiegelen. “*Onderzoekers worden veelal gemotiveerd door nieuwsgierigheid, het werken met generalisaties en de wens een fundamenteel begrip te verwerven van de wereld om hun heen. Ontwerpers laten zich motiveren door doen, het plezier van dingen creëren en de wens om praktische oplossingen uit te werken voor concrete (menselijke) problemen.*” Dit verschil kan in de achtergrond zeker zo aanwezig zijn, maar de overeenkomst op de voorgrond is minstens zo belangrijk, denk ik. Het plezier in het oplossen van puzzels, waarin je je kunt vastbijten. In beide gevallen moet je echt probleemeigenaar worden, zelfs al werk je aan het probleem van een ander. Dat brengt me opnieuw op de ‘onderzoekende houding’. Is er ook zo iets als een ‘ontwerpde houding’? Daar wordt verrassend weinig aandacht aan besteed. Naast het ‘je-vastbijten-in’ gold bij het onderzoeken vooral het (zelf)kritische aspect. Geldt dat ook voor ontwerpen? Ook bij een ontwerp

moet je je toch voortdurend afvragen of het wel optimaal is? Ook al kan dat nu betekenen het meest winstgevend! In feite ook een vorm van topsport dus, maar dat moet je wel liggen. Of ligt dat nu genuanceerder? Immers, ook een technisch slecht ontwerp kan nog wel degelijk goed werken en verkopen. Dus hoe zit dat met de professionele normen voor een ontwerper? Zou daarvan ook iets moeten doordringen in het onderwijs? Ik kom daar eigenlijk weinig van tegen, wat toch verrassend genoemd mag worden. Eén van de redenen waarom ontwerpen goed scoort bij leerlingen is, denk ik, dat het veel gemakkelijker is een hen aansprekende ontwerp opdracht te bedenken, dan een hen aansprekende onderzoeksvraag. En dus kan hun ontwerpproces veel directer motivatiegestuurd verlopen. Juist omdat de terugkoppeling of het ontwerp ‘goed’ is, direct gegeven wordt door of het ook werkt zoals bedoeld. Belangrijke voordelen, lijkt me, maar niet voldoende om het daarbij te laten!

13.3.3 Ontwerpvaardigheden?

“De ontwerpmethodologie is ooit begonnen met de zoektocht naar het ideale ontwerpschema. Men hoopte een schema te bedenken dat je aan elke willekeurige ontwerper zou kunnen meegeven en dat hem of haar precies zou vertellen welke stappen achtereenvolgens gezet moesten worden om tot een ontwerp te komen. Tot op de dag van vandaag zijn dat soort schema’s te vinden in boeken over ontwerpen. Later kwamen daar schema’s voor allerlei deelprocessen binnen het ontwerpproces bij, bijvoorbeeld schema’s voor het bedenken van volstrekt nieuwe ideeën of voor het evalueren van een verzameling van mogelijke oplossingen voor een ontwerpprobleem. (...) Maar zo eenvoudig bleek de werkelijkheid niet te zijn. Al gauw kwam men er achter dat wat goed is voor het ene ontwerpprobleem, volstrekt niet werkt voor een ander. Daarom kwam de vraag op: wat maakt het ene ontwerpprobleem anders dan het andere?” Aldus opnieuw De Vries⁴³³ die, in navolging van anderen, onderscheid maakt tussen drie typen technieken:

- 1 Ervaringstechnieken – In die technieken maakt de ontwerper vooral gebruik van ervaringskennis en is een wetenschappelijke theorie hoogstens wijsheid achteraf, die verder geen consequenties heeft voor het ontwerp (voorbeeld: ontwerpen van simpele huishoudelijke voorwerpen).
- 2 Macrotechnieken – In die technieken wisselen onderzoek en ontwerpen elkaar af (voorbeeld: de stoommachine, die was al ontwikkeld voordat de thermodynamica er was, maar die theorie kon wel gebruikt worden voor rendementsverbetering).
- 3 Microtechnieken – Bij zulke technieken moet eerst bepaalde wetenschappelijke kennis ontwikkeld zijn voordat het ontwerp tot stand kan komen (voorbeeld: de transistor).

Deze indeling maakt het me mogelijk iets te verduidelijken. Als ik zeg dat leerlingen (en mensen) al lang kunnen ontwerpen, omdat ze dat in hun leefwereld regelmatig doen, dan heb ik het kennelijk over ‘ervaringstechnieken’. En dat verklaart niet alleen de snelle opkomst van ‘technisch ontwerpen’ in het onderwijs, maar ook dat er niet over aansluiten bij de leefwereldervaring wordt gepraat. Het blijkt min of meer vanzelfsprekend te zijn dat het ontwerpen zich in het gros van de opdrachten beperkt tot ervaringstechnieken en dus is die aansluiting vanzelf gegarandeerd. Als ik de eis stel dat (in ieder geval in de bovenbouw AVO) natuurwetenschappelijke kennis een aan-

wijsbare en liefst belangrijke rol moet spelen in het ontwerpproces, dan hebben we het al snel over macro- of microtechnieken. Maar dan zal zich het probleem voordoen dat de mate waarin deze inhoudelijke kennis aanwezig is en beheerst wordt, bepalend wordt voor het succes van het ontwerpproces (dus net als bij het onderzoeken). En dat is, vanuit het ontwerpen gezien, bepaald geen gering probleem! Ik denk, en daarin wordt ik bevestigd als ik voorbeelden van ontwerp opdrachten zie, dat er hooguit sprake kan zijn van ontwerpen op uitgebreid leefwereldniveau, dat wil zeggen grotendeels ervaringstechnieken, verrijkt met toepassing van relatief eenvoudige natuurwetenschappelijke kennis. Dat kan nog steeds, of misschien wel juist, uiterst motiverend zijn, maar is dat wel genoeg, kun je je afvragen, gezien het hoofddoel van technisch ontwerpen: leerlingen een beeld geven van de wereld van de techniek als attractief werkgebied?

Of zou dit niveau probleem kunnen worden opgelost door preciezere ontwerpprocedures te onderwijzen? Daartoe opnieuw De Vries: *“Maar als het ene ontwerpprobleem het andere niet is, dan is het misschien toch wel mogelijk om voor verschillende soorten ontwerpproblemen verschillende stappenschema’s te bedenken. Maar ook dat bleek te optimistisch. Op een gegeven moment ontstond de gedachte dat het wel eens interessant zou kunnen zijn om te onderzoeken hoe ontwerpers omgaan met al die prachtige ontwerpschema’s. (...) Al dat soort onderzoek leverde verrassende resultaten. Het bleek dat veel ontwerpers helemaal niet uit de voeten konden met de geordendheid die een stappenschema suggereert. Ontwerpprocessen bleken veel chaotischer te verlopen. Dat was niet zo bij onervaren ontwerpers, maar juist vaak bij ervaren ontwerpers. Ook werd de indruk bevestigd dat het ene ontwerpprobleem heel anders wordt aangepakt dan het andere. Kortom: de vraag kwam op wat de zjn was van al die stappenschema’s.”* Als er geen geaccepteerde ontwerpaanpak is, wat heb je dan nog anders in handen dan ‘trial and error’ om leerlingen te leren ontwerpen? Geef je met elke poging tot systematische aanpak leerlingen niet precies een verkeerd beeld van juist die beroepspraktijk waar je hen op wil oriënteren?

“Lessen techniek worden door veel leerlingen hoog gewaardeerd omdat ‘je dan dingen mag maken’. Vol trots nemen leerlingen soms de gemaakte producten mee naar huis.” Aldus Buil et al.⁴³⁸ in hun bijdrage over ontwerpen. En daarin hebben ze helemaal gelijk, ook ik zou daaraan waarschijnlijk verre de voorkeur geven boven het maken van mechanicasommen. Maar die trots zegt niets over wat leerlingen in die lessen geleerd hebben. Natuurlijk is het vaak een uitdaging om een ontwerp opdracht uit te voeren, al is het maar zoiets simpels als het maken van een kaasschaaf⁴³⁹, maar leer ik dan, behalve het ontwikkelen van mijn handvaardigheid, ook iets nieuws dat op dat schoolniveau thuishoort? De uitwerking van de ontwerpeindterm van figuur 135 in ontwerpvaardigheden (figuur 144) zou hierover uitsluitsel moeten geven. Wat opvalt is dat, in vergelijking met de ontwerpvaardigheden uit het programma voor de Tweede Fase, de stappen 2, 3 en 4 zijn toegevoegd, dat wil zeggen juist de fase van het (gedwongen) divergente en convergente denken. Is het wel terecht, kun je je afvragen, om zaken die hoofdzakelijk om didactische redenen lijken te zijn ontwikkeld, op te nemen in een eindterm?

⁴³⁸ W. Buil, B. Luiten & L. Arntzen (2012). Ontwerpen. In: I. Frederik & G. van Dijk (Red.), *Techniekdidactiek*. Ecent.

⁴³⁹ Uit NINA (2007). *Startmodule: Technisch Ontwerpen*. Enschede: Stichting natuurkunde.nl

Specificatie eindterm Ontwerpen

De kandidaat kan

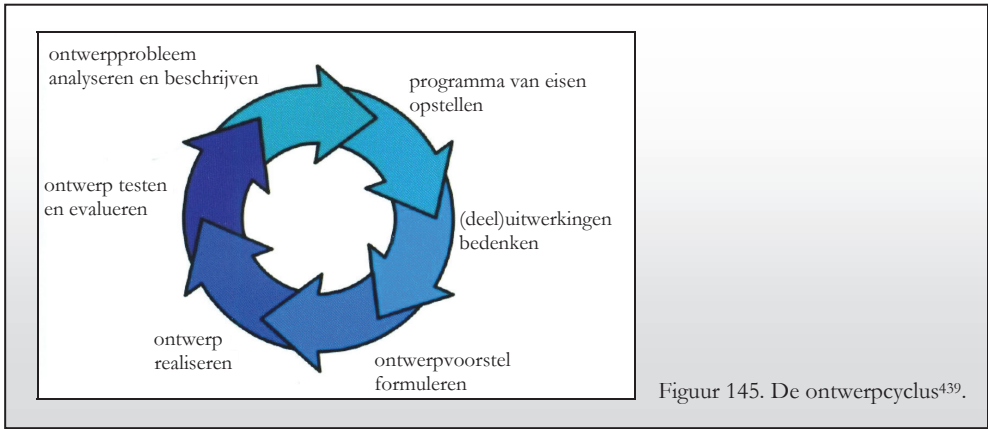
- 1 een technisch probleem herkennen en specificeren,
- 2 voor een ontwerp een programma van eisen en wensen opstellen,
- 3 verschillende uitwerkingen geven voor functies en eigenschappen van het ontwerp,
- 4 een beargumenteerd voorstel doen voor het ontwerp, rekening houdend met prioriteiten, mogelijkheden en randvoorwaarden,
- 5 een werkplan maken voor het uitvoeren van het ontwerp,
- 6 een prototype van het ontwerp bouwen,
- 7 het ontwerpproces en -product evalueren, rekening houdend met ontwerpeisen en randvoorwaarden,
- 8 voorstellen doen voor verbetering van het ontwerp.

Figuur 144. Gespecificeerde ontwerpeindterm in termen van ontwerpvaardigheden (uit NINA-Syllabus, werkversie 2, CvE).

Maar er is nog iets. Het blijkt uit figuur 144 dat van leerlingen gevraagd wordt dat ze ook een prototype van hun ontwerp kunnen *maken*. Voor zover mij bekend heeft eigenlijk niemand daar ooit echt bezwaar tegen gemaakt, maar dat lijkt mij een onterechte eis, omdat die ongewenste beperkingen oplegt aan het ontwerpen zelf⁴⁴⁰ en onvermijdelijk leidt tot ‘gefröbel’. Ik vermoed dat we hierin de onderwijshistorie van het ontwerpen tegenkomen. Ik doel hier op het vak techniek in de basisvorming, dat op zich weer een adaptatie was van het vak ‘algemene technieken’ op het LBO. Daarin lag het accent op handvaardigheid, waar technisch ontwerpen een zinvolle verdieping aan toevoegde. Bij uitbreiding naar de bovenbouw van HAVO/VWO lijkt ditzelfde concept naadloos te zijn overgenomen. En ook al vinden veel leerlingen het maken van iets leuk, de principiële vraag is of die eis wel thuishoort in deze bovenbouw. Immers, het doel van technisch ontwerpen in de bovenbouw, lees ik steeds, is een oriëntatie te bieden op dat deel van de professionele wereld van de techniek, waar leerlingen na het doorlopen van een HBO/WO opleiding deel van zouden kunnen gaan uitmaken. Welnu, in die professionele wereld zijn er, naast ontwerpers, altijd constructeurs die het maken voor hun rekening nemen. Nog los van de vraag hoeveel professionele ontwerpers ook zelf hun producten maken, zou ik benieuwd zijn naar het antwoord op de vraag hoeveel ingenieurs er eigenlijk überhaupt als ontwerper werken. Hoe verhoudt zich dat tot hun aantal dat werkt in industriële constructie- en productieafdelingen? Of anderszins? Eenzijdige nadruk op ontwerpen, en zeker op het maken zelf, lijkt me dus nogal een vertekend beeld te geven van het werk van ‘de’ ingenieur. Aan de volgorde van de ontwerpvaardigheden lijkt duidelijk een stappenplan voor ontwerpen, conform figuur 143, ten grondslag te liggen, ondanks de net besproken

⁴⁴⁰ Eenzelfde bezwaar doet zich natuurlijk voor bij het doen van een eigen experimenteel onderzoek. Het verschil is dat een leerling dan weliswaar een eigen meetopstelling moet ontwerpen, maar daarvoor wel zoveel mogelijk gebruik kan maken van bestaande apparatuur. Het beroep op pure handvaardigheid, en de daardoor opgeroepen beperking, zal daardoor gewoonlijk aanzienlijk minder kunnen zijn.

dubieuze waarde daarvan. Als gevolg daarvan zal ook het onderwijs in technisch ontwerpen deze stappen gaan benadrukken en expliciet gaan trainen. En dat is precies wat gebeurt met de ontwerpcyclus (figuur 145) en het zogenoemde ‘cyclus zoomen’. Dat laatste houdt in dat ingezoomd wordt op deelprocessen uit de cyclus om die apart te oefenen. Opnieuw, zolang duidelijk wordt dat hier sprake is van een didactisch hulpmiddel en dat ingezoomd wordt om duidelijk te krijgen wat met de verschillende fasen uit het proces wordt bedoeld, is er niets mis mee. Maar deze cyclus moet niet model gaan staan voor de stappen die je achtereenvolgens moet nemen in een ‘goed’ ontwerpproces, alsof je op die manier moet ontwerpen.



Figuur 145. De ontwerpcyclus⁴³⁹.

Dat roept de vraag op of er, in analogie met het onderzoeken, ook geen kenniselementen zijn aan te wijzen die, verbonden door de cyclus, een bijdrage leveren aan ontwerpen. Zou er, in analogie met het PACKS-project, ook een PACKTD-project mogelijk zijn (Procedural and Conceptual Knowledge in Technological Design)? Laat ik daarover, hoe ondeskundig ook, om de gedachten te bepalen eens fantaseren. Zo zie ik vier vergelijkbare productstadia: de ontwerpopdracht, de ontwerpopdracht zoals geïnterpreteerd, de ontwerpopdracht zoals uitgevoerd, en de ontwerpopdracht zoals getest en geëvalueerd.

In de eerste periode gaat het om: kennis van de doelgroep, technische en natuurwetenschappelijke achtergrondkennis, kennis van al bestaande artefacten, kennis van ontwerpnormen, kennis van de fasering in een ontwerpproces, en kennis van hulpmiddelen om je ontwerpproces te structureren (zoals programma van eisen, ideeëntabel en plan van aanpak). In de tweede periode is kennis van maak- en productietechnieken aan de orde, in de derde periode kennis van testtechnieken en kennis van evaluatieprocessen (besluitvorming, terugkoppeling, normatieve beoordeling). Dit is alleen een ruw idee, dat ik graag aan anderen overlaat ter verbetering. Waar het me echter om gaat is dat er hierdoor, in analogie met onderzoeken, ook zoiets zou ontstaan als te onderwijzen kennis van ontwerpen, dat het alleen ervaring opdoen met ontwerpen zelf zou overstijgen.

Dat brengt me, net als bij het leren onderzoeken, tot de conclusie dat we in de bovenbouw van het AVO leerlingen niet zozeer moeten willen leren ontwerpen, maar hen

vooral een oriëntatie moeten willen bieden op de wereld van de (industriële) techniek. Leren ontwerpen kan immers niet de taak zijn van het AVO, dat is de taak van HBO/WO. In de onderbouw mogen leerlingen volop ontwerpen, dan kan hun 'technisch talent' ontdekt worden, maar in de bovenbouw zou de streefrichting een andere moeten zijn. Aan de ene kant gericht op technische (of technologische) geletterdheid en aan de andere kant, voor diegenen die zich aangetrokken voelen tot een technologische opleiding, op beroepsoriëntatie. Natuurlijk kan het ook voor zo'n verdere 'beroepsoriëntatie' zinvol zijn om op bescheiden wijze kennis te maken met ontwerpen, en daarin past voortgaande 'eigen ervaring met'. Vooropgesteld dat deze ervaring ook in een wijder perspectief wordt geplaatst. Voor het doel van technologische geletterdheid ligt dat, mijns inziens, anders. Dat doel houdt immers zeker niet in dat je zelf kunt ontwerpen, maar dat je een functionerend beeld hebt gekregen van hoe de technologie werkt, en wat de waarde daarvan is. Daarvoor moet het accent dus niet liggen op het zelf leren ontwerpen, maar veel meer op het reflecteren op de resultaten en mogelijkheden van technologie van anderen⁴⁴¹. Voor deze reflectie lijkt me de methode van systeemanalyse⁴⁴² goed geschikt, mits deze aangevuld wordt met analysevragen over de (massa)productie van de onderzochte systemen. De reden van deze geschiktheid, juist voor het bevorderen van geletterdheid, is dat deze analyse vraagt om een blikwisseling die, in principe, ook transfermogelijkheden heeft. Als leerling moet je zo op een andere manier dan gebruikelijk leren kijken naar techniek. En als deze manier zich niet alleen richt op het gebruik en de eigenschappen, maar ook op de productiewijzen, dan kan ook dat aspect van de technische wereld op functionele wijze aan bod komen. Zeker als via excursies of anderszins ook een echte blik kan worden geworpen op die wereld.

In de huidige praktijk is, naar mijn indruk, mede door de betrokkenheid van HO- en WO-instellingen en bedrijfsleven, veel accent komen te liggen op de 'excellente' leerlingen die, meestal in het kader van hun profielwerkstuk, een zelfstandig ontwerp

⁴⁴¹ Op grond van deze overwegingen zou je in de bovenbouw VWO een gedifferentieerde module 'oriëntatie op technologie' kunnen invoeren, die je zou kunnen zien als een (gedeelte)inhoudelijke invulling van domein I. De volgende onderdelen zouden daarvan deel kunnen/moeten uitmaken:

- Een eerste ontwerp. Dit wordt globaal op grond van leefwereldervaring uitgevoerd. Enkele daarvoor geschikte opdrachten zouden ieder door minstens twee groepjes leerlingen moeten worden uitgevoerd.
- Klassikale rapportage en nabespreking moet leiden tot: explicitering van de fasen in een ontwerp, en soorten ontwerp-kennis, uitgewerkt tot een globale heuristiek. De ontwerpcyclus kan hierin een functie vervullen, met duidelijk onderscheid tussen uitvoering en reconstructie achteraf. Op grond hiervan moet de behoefte ontstaan aan meer kennis over de eigenschappen van technische producten en systemen.
- Systeemonderzoek. Leerlingen analyseren een aantal technische producten/systemen op gebruik, functies, eigenschappen en wijze van productie.
- Studie van productcyclus. Leerlingen bestuderen een concreet en gedetailleerd voorbeeld van de maatschappelijke levenscyclus van een technologisch product (met bijzonder accent op hoe natuurwetenschappelijke en technologische kennisgroei enerzijds kan leiden tot de opkomst en anderzijds ook tot de ondergang van een product).
- Eigen werk. De toekomstige bètastudent kan zijn oriëntatie nu afronden met een eigen ontwerp, de toekomstige 'geletterde' met een reflectieve studie- en verwerkingsopdracht (historisch, technisch, maatschappelijk).

⁴⁴² D. van der Velde & T. Last (2012). Technische systemen. In: I. Frederik & G. van Dijk (Red.) *Techniekdidactiek*. Ecent.

moeten maken. Dat lijkt me prima, maar het is een te eenzijdige invulling van aandacht voor techniek.

13.4 Leren modelleren?

13.4.1 Inleiding

“In natuurwetenschappelijke en wiskundige praktijken wordt veel gebruik gemaakt van modellen. Het ontwikkelen, gebruiken en beoordelen van zulke modellen, ‘modelleren’, is dan ook een activiteit van β -breed belang. Ook in het voortgezet onderwijs worden veel modellen behandeld, alleen krijgen het modelleerproces en het modelkarakter van de ontwikkelde kennis daar vaak weinig aandacht. Zowel vanuit het oogpunt van scientific literacy, als vanuit het oogpunt van voorbereiding op studie en beroep, is het gewenst dat leerlingen meer zicht krijgen op het proces van kennisontwikkeling zoals dat in de wetenschap plaatsvindt. Aandacht voor modelleren en voor het gebruik van computermodellen kan daartoe bijdragen.” Aldus adviseerde de ‘afstemmingsgroep modelleren’ aan de gezamenlijke bètavernieuwingscommissies⁴⁴³.

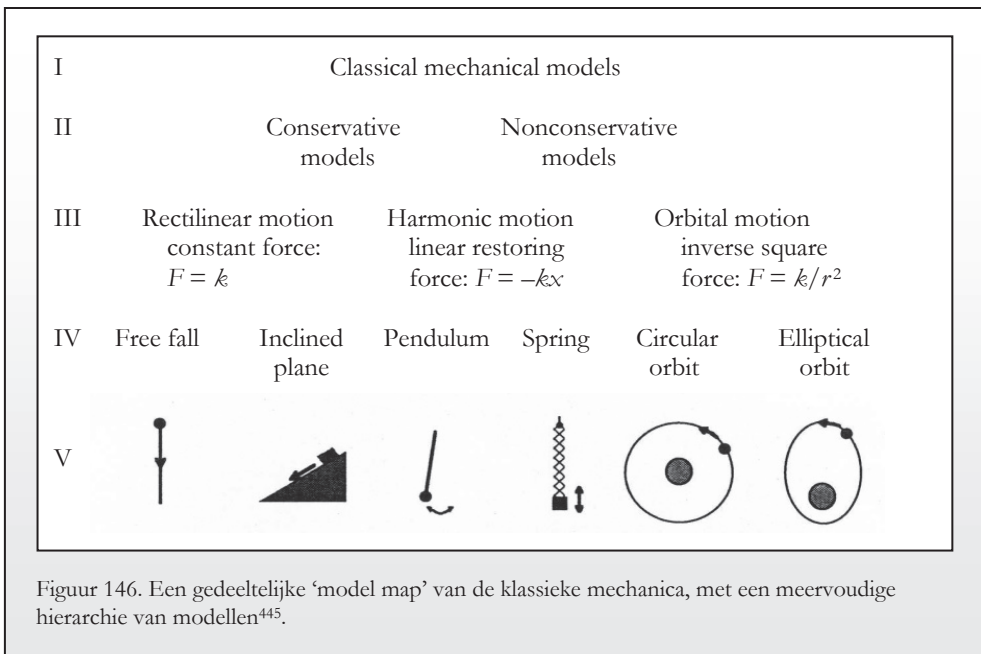
Nu is aandacht voor modellen en modelleren in het natuurwetenschappelijk onderwijs van alle tijden. Toch wordt er juist de laatste jaren meer dan anders over geschreven en over de achtergrond daarvan heb ik hiervoor al iets gezegd. Desondanks kunnen we, naar mijn oordeel, nog steeds niet zeggen dat we didactisch weten hoe het moet, met name ten aanzien van een didactiek voor ‘leren modelleren’, als dat überhaupt al mogelijk is. Wel is, zoals we gezien hebben, veel onderzoek gedaan waaruit naar voren komt dat zowel docenten als leerlingen allerlei problemen kunnen hebben met modellen. Zoals eerder geciteerd schreven Schwarz & White²⁰⁴: *“There is ample evidence indicating that students may not understand the nature of models or the process of modeling even when they are engaged in creating and revising models.”* En dat dus ondanks vele vernieuwingsprojecten die zich nu juist daarop richten en gericht hebben. Het lijkt dus niet alleen zo te zijn dat modellen nog steeds grotendeels ‘feitelijk’ worden onderwezen, maar ook dat er meestal geen tot hooguit impliciete aandacht is voor modelleren. Kennelijk is verandering hiervan in de onderwijspraktijk allesbehalve gemakkelijk te verwezenlijken. *“... teaching students about the nature of models and the process of modeling has proven to be difficult”*²⁰⁴. *Direct efforts at improving modeling knowledge have met with limited success.”*

Het resulterende hoofdprobleem is dan ook nog steeds hoe dit, didactisch gezien, het beste gedaan kan worden, al lijkt er de laatste jaren wel voortgang gemaakt te worden. Kunnen we, bijvoorbeeld, het onderwijzen van modellen, van de aard van modellen en van modelleren niet op een functionele manier integreren, zodat deze doelen elkaar versterken? Wat houdt dat dan in voor de rol van de docent? En hoe kan het onderwijzen van ‘leren modelleren’ er dan in de praktijk uitzien? Bestaat er zoiets als een algemene ‘modelleercompetentie’ en kan die op een explicietere manier onderwezen worden dan door leerlingen alleen aan een aantal modelleeractiviteiten te laten deelnemen?

⁴⁴³ E. Savelsbergh e.a. (z.j.). *Modelleren en computermodellen in de β -vakken*. Utrecht: FIsmc.

13.4.2 Wat is een model?

Ook daarover heb ik (in paragraaf 8.2.3.4) in algemene termen al iets geschreven, wat ik nu niet zal herhalen. Hestenes⁴⁴⁴ heeft de laatste jaren het meest uitvoerig geschreven over modellen en modelleren en zelfs een ‘Modeling Theory of Physics Instruction’ ontwikkeld. Een theorie die mede gebaseerd is op de ‘model-theoretic approach to understanding the nature of scientific theories’ van Giere⁴⁴⁵. Deze benadering gaat ervan uit dat de natuurkunde (of wetenschap) niet rechtstreeks de werkelijkheid beschrijft door waarneming, maar door het construeren van conceptuele modellen waarmee de observaties worden geïnterpreteerd en objecten worden gerepresenteerd. Een natuurkundige theorie genereert gewoonlijk ‘families van modellen’, die gekenmerkt worden door specifieke prototypen. De natuurkundige representeert vervolgens een relevant deel van de werkelijkheid met een eventueel aangepast prototypisch model, op grond van geïnterpreteerde overeenkomsten. “Models are idealized structures that we use to represent the world, via resemblance relations between the model and real-world target systems.” Figuur 146 geeft een indruk van een deel van de prototypische modellen uit de klassieke mechanica. Daaruit kun je concluderen dat deze prototypen vooral ontstaan



⁴⁴⁴ D. Hestenes (1987). Towards a modeling theory of physics instruction. *American Journal of Physics*, 55, 440-454.

D. Hestenes (1997). Modeling methodology for physics teachers. In: E. Redish & J. Rigden (Eds.), *The Changing Role of the Physics Department in Modern Universities*. AIP, 935-957.

Hestenes, D. (2007). Notes for a modeling theory of science, cognition and instruction. In: E. van den Berg et al. (Eds.), *Proceedings GIREP Conference* (pp. 34-65). Amsterdam: GIREP.

⁴⁴⁵ R.N. Giere (1994). The cognitive structure of scientific theories. *Philosophy of Science*, 61, 276-296.

R.N. Giere (2004). How models are used to represent reality. *Philosophy of Science*, 71, 742-752.

lijken te zijn op grond van wiskundige manipuleerbaarheid. Naarmate een familielid verder van het prototype afwijkt, is het complexer en wiskundig moeilijker hanteerbaar. Bijvoorbeeld: een harmonische oscillator en een gedempte oscillator. Het is duidelijk dat, in deze opvatting, modelleren de centrale natuurkundige activiteit is, waarop Hestenes' 'modeling theory of physics instruction' dan ook is gebaseerd. "*A model (in physics) is a representation of structure in a physical system and/or its properties (used to represent observable patterns in physical phenomena).*" Merk op dat hij dus ook een realist is!

A conceptual **model** is defined by specifying **five types of structure**:

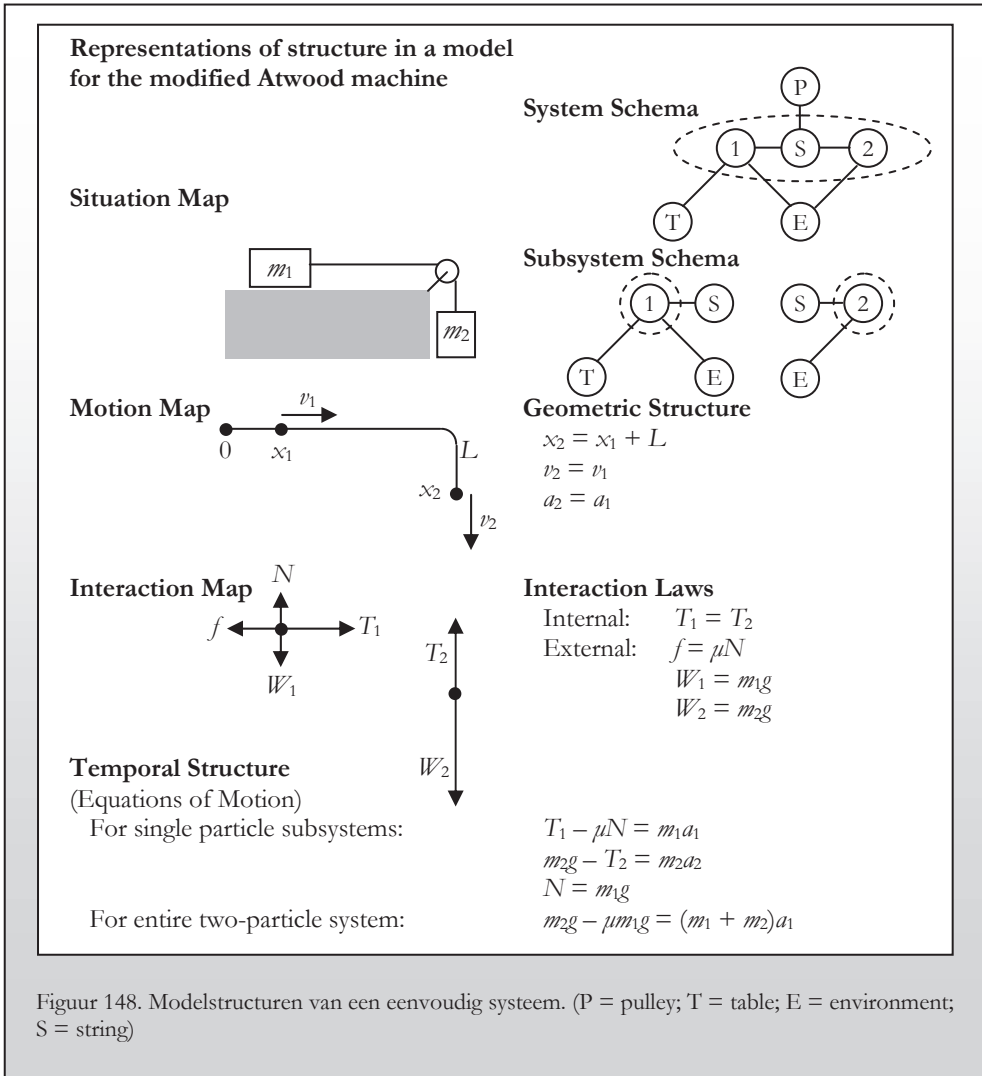
- | | | |
|---|-----------------------------------|--|
| a | systemic structure | <ul style="list-style-type: none"> ● composition (internal parts (objects) in the system) ● environment (external agents linked to the system) ● connections (external and internal links) |
| b | geometric structure | <ul style="list-style-type: none"> ● position with respect to a reference frame (external) ● configuration (geometric relations among the parts) |
| c | object structure | <ul style="list-style-type: none"> ● intrinsic properties of the parts |
| d | interaction structure | <ul style="list-style-type: none"> ● properties of (causal) links |
| e | temporal (event) structure | <ul style="list-style-type: none"> ● temporal change in structure of the system |

Figuur 147. Modelstructuren volgens Hestenes⁴⁴⁴.

Volgens Hestenes start natuurwetenschappelijk modelleren met het identificeren van een *stroom*, als een set van gerelateerde *objecten*. In een conceptueel systeem zijn de objecten concepten, in een materieel systeem zijn het materiële dingen. Afhankelijk van de relaties tussen en de eigenschappen van de objecten kan het systeem worden geclassificeerd als fysisch, chemisch of biologisch. De relaties tussen deze objecten bepalen de *structuur* van het systeem (figuur 147). Ieder model is een geïdealiseerde representatie van die structuur of structuren die relevant zijn voor het doel. Een model is *mathematisch* wanneer de systeemstructuur gerepresenteerd wordt met behulp van kwantitatieve variabelen (objectvariabelen, toestandsvariabelen en interactievariabelen), terwijl een procesmodel de temporele structuur representeert als een verandering van toestandsvariabelen. Hij maakt ook onderscheid tussen een *theorie* en een model. "*A scientific theory can be regarded as a system of design principles for modeling real objects. The content of a scientific theory is a population of validated models.*" Ofwel, met behulp van een theorie als 'a system of general principles' maak je een model van een bepaalde situatie. Figuur 148 geeft een voorbeeld van hoe dat werkt in de praktijk. Daarin zie je hoe voor een eenvoudig systeem de diverse structuren kunnen worden weergegeven en hoe dat leidt tot een volledige en systematische karakterisering van het systeem⁴⁴⁶. Van

⁴⁴⁶ Zo vormen de wetten van Newton zo'n systeem van algemene 'principes'. Met behulp daarvan kun je dus een mechanica-model maken van een concrete situatie van bewegende objecten. Of, om een ander voorbeeld te geven, hiermee kun je een onderscheid maken tussen de theorie van Bohr en een Bohr-model van een atoom. Twee zaken die gewoonlijk niet erg consequent onderscheiden worden.

de expliciete gedetailleerdheid waarmee dat gebeurt, kunnen we, didactisch gezien, nog wat leren.



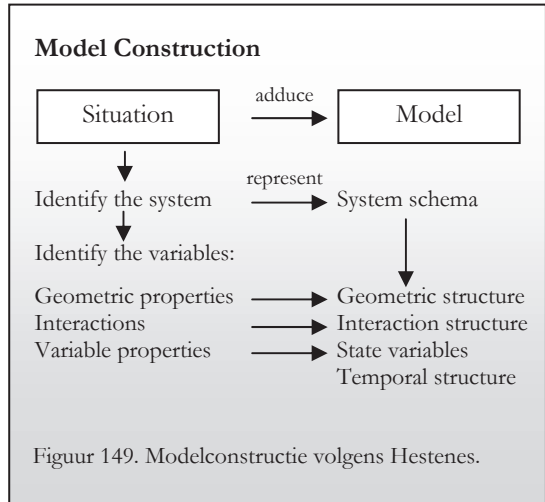
13.4.3 En wat is modelleren?

“Physical understanding”, aldus Hestenes, “is a complex set of modelling skills, that is, cognitive skills for making and using models. The primary objective of physics teaching should therefore be to develop students modelling skills for making sense of their own physical experience and evaluating information reported by others.” En dit doel bereiken we dus door leerlingen systematisch te laten modelleren. Dat wil zeggen, door hen “the cognitive process of applying the design principles of a theory to produce a model of some physical object or process” op een of andere sys-

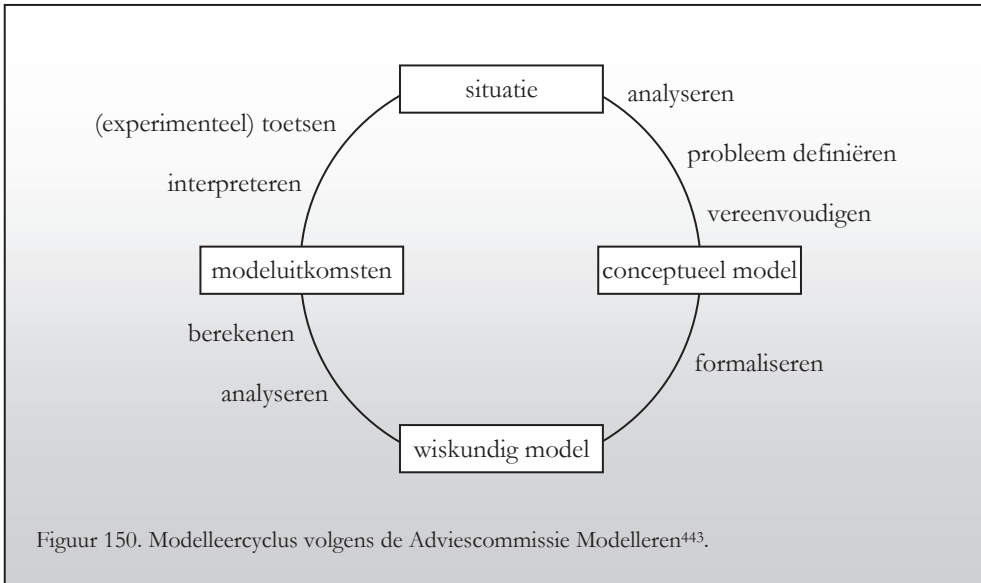
tematische en expliciete manier te onderwijzen. Figuur 149 geeft de eerste cruciale stap van dit modelleerproces, de constructie van een model, schematisch weer. In zijn meest eenvoudige vorm kunnen we het modelleren ordenen volgens aanwijzingen als: “*Identify the system, its objects [and] the variables*”, of preciezer: “*Identify the properties of interest and specify variables to represent them.*”⁴⁴⁷ In feite ontwikkelt Hestenes zo een systeem van heuristische regels voor modelleren.

In dit geval gaat het om modelleren als het toepassen van een reeds bekende wetenschappelijke theorie bij het oplossen van nieuwe problemen. Hij formuleert dus een modelleerstrategie in de vorm van een specifieke probleemoplosstrategie. En dat in aansluiting op de manier waarop de toe te passen theorie behandeld wordt. Hij richt zich in dit geval dus op wat je de *theorie-toepassende* rol van modelleren zou kunnen noemen. In dit opzicht komt zijn aanpak overeen met die van de Adviescommissie Modelle-

ren. “*Modelleren*’ in de brede betekenis van het woord verwijst naar een iteratief proces, waarin wiskundige en natuurwetenschappelijke kennis wordt toegepast om nieuwe situaties te beschrijven, hierover verwachtingen te formuleren en deze te toetsen aan de werkelijkheid. Dit omvat het doorgronden/analyseren van het probleem, het kiezen van variabelen, het opstellen van verbanden, het bepalen van een strategie, het inzetten van wiskundige middelen, en vervolgens het interpreteren van de gevonden resultaten en het verzamelen van gegevens waaraan deze resultaten getoetst worden. Het doel kan liggen in een beter begrip van de situatie op zich, maar (ook) in het ontwikkelen van nieuwe conceptuele kennis.” Weliswaar wordt hier ook gesproken van nieuwe conceptuele kennis, maar dat lijkt dan toch vooral te gaan om situationele kennis en niet om de toe te passen theorie op zich. Dat blijkt in zekere zin ook uit hun modelleercyclus (figuur 150). Immers, je komt tot een conceptueel model door het probleem eerst te interpreteren als zijnde van een bepaalde fysisch-theoretische categorie, om vervolgens de ‘tools’ van die theorie te gebruiken in de verdere analyse. In termen van Giere betekent dit dat je de situatie classificeert als best passend bij een of meerdere modelfamilies van een theorie, zodat je het probleem daarna in termen van het best passende familielid kunt gaan uitwerken. In het commissieadvies gaat het echter vooral om computerondersteund modelleren en als gevolg daarvan lijkt het wel of ze zo snel mogelijk toe willen naar een computermodel, ten koste van aandacht voor de eerste fasen van modelvorming. Het is juist die eerste fase, de representatie van een situatie in een adequaat fysisch model, die bij Hestenes alle aandacht krijgt. En terecht!



⁴⁴⁷ Hij onderscheidt daarin vier fasen: description, formulation, ramification en validation, die praktisch samenvallen met de bekende stappen in een probleemoplosproces: analyseren, plannen, uitvoeren en controleren.



Laat ik dit toelichten met een voorbeeld. Ik vermoed dat de aanpak van figuur 146 weinig enthousiasme heeft kunnen oproepen. Teveel ouderwetse natuurkunde, wij doen het immers tegenwoordig in context! Dat bezwaar snap ik, maar het doen in contexten heeft ook zijn gevaren en die wil ik nu demonstreren. Ik neem daarvoor een opgave uit de lessenserie ‘Een sportieve beweging’ (figuur 151). We zien hier een realistische context, die dus ook onvermijdelijk complex is⁴⁴⁸. De auteurs stellen echter niet de vraag naar het systeem, de relevante objecten en ook niet naar de relevante variabelen. Er wordt direct toegewerkt naar de interactiestructuur, want die moet immers in het computermodel worden ingevoerd. Dat laat ons zitten met de vraag wat die cirkel betekent *waarin* de krachten kennelijk aangrijpen. Als de cirkel⁴⁴⁹ een representatie is van de ‘fietser met fiets’, met zwaartepunt, dan ontbreekt de motivering daarvoor. Dan grijpen niet alleen de krachten verkeerd aan, het modelobject wordt verder ook niet als cirkelvorming behandeld. Wat het krachtendiagram betreft blijkt het object gereduceerd te zijn tot een massapunt, maar ook die motivering ontbreekt. En dat is vreemd, want er is toch een hele fysische argumentatie nodig om die reductie te kunnen rechtvaardigen. Waar het me nu om gaat is dat aan deze hele representatie, dat wil zeggen de reductie van het reële systeem tot een fysisch relevant en hanteerbaar model, geen woord wordt gewijd, terwijl dat toch een essentieel, zo niet het meest essentiële aspect van fysisch modelleren inhoudt⁴⁵⁰. Ook de bewegingsvergelijking wordt niet opgesteld, terwijl daaruit toch expliciet duidelijk wordt waarom je dit

⁴⁴⁸ Ontwikkelgroep Dynamisch Modelleren (2006). *Een sportieve beweging*. Utrecht: CD-β.

⁴⁴⁹ Dit doet me sterk denken aan een bekende mop. Vraag: Hoe tekent een fysicus een paard? Antwoord: Als een cirkel. Vraag: En hoe een olifant? Antwoord: Als een grote cirkel!

⁴⁵⁰ Natuurlijk gaat dit grotendeels voorbij aan de leerling, die vindt die cirkel met krachten prima, maar dat roept dan wel de vraag op wat die eigenlijk leert ten aanzien van modelleren.

met een computermodel oplost. Nee, de aandacht gaat volledig uit naar hoe je de krachten invoert in een computerrepresentatie en dan doorrekent. Op zich is dat laatste prima, mits het eerste deel van het proces, de fysische modellering (à la Hestenes) voldoende inzichtelijk is gebeurd.

Voor de beweging van een wielrenner op een helling moeten we rekening houden met de krachten op de wielrenner langs de helling zoals weergegeven in figuur 8: de component $F_{z,x}$ van de zwaartekracht langs de helling, de rolwrijvingskracht $F_{w,r}$ en de luchtwrijvingskracht $F_{w,l}$. Voor deze drie krachten op een afdalende wielrenner gelden de volgende formules:

- $F_{z,x} = F_z \cdot \sin \alpha = m \cdot g \cdot \sin \alpha$. Hierin is F_z de zwaartekracht, m de massa van de wielrenner, g de zwaartekrachtconstante (9,8 N/kg), en α de hellingshoek.
- $F_{w,r} = c_r \cdot F_n = c_r \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha$. Hierin is c_r de rolwrijvingscoëfficiënt, F_n de normaalcracht, m de massa van de wielrenner, g de zwaartekrachtconstante (9,8 N/kg), en α de hellingshoek.
- $F_{w,l} = \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$. Hierin is c_w de luchtwrijvingscoëfficiënt, A het frontaal oppervlak van de wielrenner, ρ de dichtheid van lucht, en v de snelheid van de wielrenner.

Figuur 8 – De krachten op een afdalende wielrenner.

Figuur 151. Een opgave uit 'Een sportieve beweging'⁴⁴⁸.

Het opstellen van een fysisch correcte en relevante modelrepresentatie is bij realistische contexten toch al lastig, maar dat wordt, naar mijn indruk, nog versterkt door het gebruik van (grafische) computermodellerprogramma's. Dit bleek bijvoorbeeld ook in het onderzoek van Ormel⁴⁵¹, die om het temperatuurverloop op aarde te kunnen voorspellen, het systeem 'aarde-atmosfeer-zon' liet modelleren. Niet alleen de leerlingen, maar ook de docenten bleken vaak heel slordig te opereren, met alle begripsproblemen van dien, bij het opstellen van een fysisch relevante en adequate representatie.

Tot zover over de theorie-toepassende rol van modelleren. Modelleren speelt echter ook een *theorie-genererende* rol en dus ook bij het ontwikkelen, c.q. leren, van een theorie.

⁴⁵¹ B.J.B. Ormel (2010). *Het natuurwetenschappelijk modelleren van dynamische systemen*. Utrecht: FIsmc.

Hierop richten zich de meeste onderzoeken, waaronder Schwarz & White²⁰⁴, die modelleren omschrijven als: “1. *Embodying key aspects of theory and data into a model*; 2. *Evaluating that model using criteria such as accuracy and consistency*; 3. *Revising that model to accommodate new theoretical ideas or empirical findings.*” Om leerlingen hiermee vertrouwd te laten worden, ontwikkelden zij een onderwijsaanpak die leerlingen in staat zou moeten stellen “*to create (computer) models that express their own theories of force and motion, evaluate their models using criteria such as accuracy and plausibility, and engage in discussions about models and the process of modelling.*” Zij wilden dus ook dat leerlingen een goed idee zouden krijgen over wat een model is. In hun lessenserie over het modelleren van mechanica besteedden ze daartoe expliciete aandacht aan wat zij ‘meta-modelling knowledge’ noemen. In een evaluatie werd aan hun leerlingen daarom bijvoorbeeld ook de volgende vraag voorgelegd: “*Now can you tell me what you think scientific models are in general?*” Als antwoord daarop bleken zij heel tevreden te zijn met zoiets als: “*A scientific model can be a theory or rule about what you think happens in real life, or it can be a representation of something. Any representation of a real thing like a car model, or a theory.*” Is die tevredenheid wel terecht, kunnen we ons afvragen? Is een dinky toy wel een wetenschappelijk model? In ieder geval lijken zij zich vooral te richten op “*scientific modeling as a theory building enterprise.*” En ofschoon zij in hun onderwijs wel expliciet aandacht besteedden aan de aard van modellen (door middel van criteria als “*accuracy, plausible mechanism, utility, and consistency*”) onderwezen zij geen expliciete *modellerstrategie*. En dat lijkt in eerste instantie, gegeven hun doel, ook te begrijpen. Immers in de ‘context of discovery’ is er geen sprake van een vooraf bekende tot succes leidende strategie.

Didactisch gezien kan de onderwijsstrategie van Schwarz & White, mijns inziens, gezien worden als een gematigd voorbeeld van wat wel ‘expressive modelling’ genoemd wordt. Deze term refereert aan een onderscheid dat vaak gemaakt wordt in de literatuur⁴⁵², tussen exploratief en expressief modelleren.

Bij expressief modelleren ontwerpen leerlingen idealiter hun eigen modellen, dat wil zeggen dat zij in de eerste plaats geacht worden daarin hun eigen ideeën over de wereld uit te drukken en te testen. Het onderwijsprobleem wordt dan hoe deze ideeën zodanig te ontwikkelen dat ze gaan corresponderen met de begrippen en modellen die we willen onderwijzen. Terwijl we in zo’n expressieve didactiek ons ook moeten afvragen hoe de gewenste kenmerken van modellen kunnen worden ontwikkeld vanuit al bij leerlingen aanwezige intuïties daarover. Dat stelt bijzondere eisen aan de te hanteren didactiek voor het door leerlingen uit te voeren modelleerproces. Je zult dan bijvoorbeeld het doel van een te ontwikkelen model in voor leerlingen zinvolle termen moeten formuleren. Zo kun je bijvoorbeeld wel vragen om manieren te bedenken om het verloop van bewegingen zo goed mogelijk te beschrijven, omdat ze dat als object van onderzoek (enigszins) kunnen kennen en waarderen, maar niet om een manier te bedenken om het macroscopisch gedrag van materie dieper te gaan verklaren (met behulp van een deeltjesmodel), omdat dit laatste hen dan nog niets zinnigs kán zeggen. En pas wanneer leerlingen veel ervaringen hebben met modelleren, mag je hopen dat de kenmerken van modellen voor hen ook enige relevantie kunnen gaan krijgen. In

⁴⁵² J. Bliss & J. Ogborn (1989). Tools for exploratory learning. *Journal of Computer Assisted Learning*, 5, 37-50.

exploratief modelleren daarentegen, als andere vorm van theorie-genererend modelleren, worden leerlingen niet geacht hun eigen ideeën, maar een gegeven model te ontdekken en te testen. Ook dan is een belangrijk deel van het onderwijsprobleem hoe dit gegeven model op een productieve manier te verbinden met de eigen ideeën van leerlingen. Of, met andere woorden, leiden we de leerlingen naar het model, of het model naar de leerlingen.

13.4.4 Naar een leerlijn modelleren?

13.4.4.1 Rationale

De theorie-genererende en theorie-toepassende vormen van modelleren zijn, voor zover dit een bruikbaar onderscheid is, uiteraard niet met elkaar in tegenspraak maar complementair. Beide dienen een rol te spelen in een curriculum dat nastreeft om natuurkunde te onderwijzen door middel van modelleren. Voor het ontwerpen van zo'n curriculum⁴⁵³ zou het mijns inziens ook nuttig zijn om nog een ander onderscheid te maken, namelijk tussen vier 'wijzen van modelleren', die in zekere zin op elkaar voortbouwen. En voor zover dat laatste van toepassing is, zou je misschien zelfs over vier modelleerniveaus kunnen spreken. In een curriculum dient modelleren te beginnen met wat leerlingen al kunnen aan het begin, dat is op common-sense niveau. Leerlingen beheersen normaal gesproken al vele relevante redeneervaardigheden. Binnen een voor hen bekende context en gegeven een voor hen relevant praktisch doel, zijn zij over het algemeen in staat om die context adequaat te reduceren en te beredeneren, om relevante representaties te maken, om relevante verwachtingen te formuleren en te testen, en om relevante conclusies te trekken. Het is juist dit common-sense modelleerniveau (niveau 1) dat we kunnen en moeten gebruiken om in ons onderwijs meer wetenschappelijke manieren van modelleren te ontwikkelen. Waarbij die meer wetenschappelijke vorm hoofdzakelijk bestaat uit, zoals we gezien hebben, het leren en leren gebruiken van de 'canonieke' theoretische modellen. Een eerste stap daarin is het ontwikkelen van beschrijvende modellen (niveau 2), waarin de common-sense begrippen, gegeven een doel dat daarom vraagt, worden aangescherpt, bijgesteld en aangevuld voor een meer wetenschappelijke beschrijving van ervaringen. Een volgende stap wordt gezet wanneer we zoeken naar modellen die een causale verklaring geven (niveau 3) van de beschreven processen in termen van een onderliggend mechanisme. Dit vraagt in het algemeen immers om een grotere creatieve sprong, die geïnduceerd wordt door het problematiseren van de eerder gevonden beschrijvingen. Deze causale mechanismen leiden in principe ook tot verklaringen, c.q. voorspellingen, van dynamische processen, ook al kunnen deze meestal niet analytisch worden uitgewerkt. Tegenwoordig kunnen deze, soms zelfs zeer complexe, dynamische modellen echter wel numeriek (niveau 4) worden doorgerekend.

Een en ander betekent dat voor leerlingen 'leren modelleren' neerkomt op zoiets als

⁴⁵³ Ik volg hier grotendeels mijn eerdere uitwerkingen:

P.L. Lijnse (2007). Models of/for teaching modeling. In: E. van den Berg et al (Eds.), *Proceedings GIREP Conference* (pp. 20-33). Amsterdam: GIREP.

P.L. Lijnse (2008). Modellen van/voor leren modelleren. *TD-β,25*, 3-24.

het leren inzetten en uitbreiden van common-sense modelleervaardigheden bij het beschrijven en/of verklaren van situaties met behulp van (voor hen) nieuwe wetenschappelijke conceptuele modellen, en nieuwe modelleerstrategieën en technieken. Zo'n leerdoel kan uiteraard niet in één keer bereikt worden, maar vraagt voortdurend terugkerende aandacht tijdens een lange termijn leertraject. Dit traject kan ik hier niet in detail beschrijven. Ik wil me beperken tot het beschrijven van voorbeelden van de drie genoemde *wetenschappelijke* manieren van modelleren, die gezien kunnen worden als drie stations langs eenzelfde route. Ofwel, in het volgende zal ik voorbeelden beschrijven van respectievelijk descriptief, causaal en dynamisch modelleren.

13.4.4.2 Descriptief modelleren

De eerste stap op de weg naar het leren maken van wetenschappelijke representaties van situaties is om de objecten die er deel van uit maken, alsmede hun eigenschappen en gedrag op een geschikte manier te leren beschrijven door middel van wetenschappelijke symbolen, wiskundige relaties en grafieken. Wat in dit geval onder 'geschikte manier' moet worden verstaan hangt af van het doel van de te maken beschrijving. Zo heeft Doorman²⁶⁵ onderzoek gedaan, in het kader van een aantal wiskundelessen, naar het symboliseren en modelleren van beweging door leerlingen, als introductie tot de beginselen van de infinitesimaalrekening. Daarvoor koos hij voor een expressieve benadering, in overeenstemming met Freudenthal's idee van 'guided reinvention'. In het ontwerpen van expressieve onderwijsactiviteiten is het een kernprobleem, zoals eerder uitgebreid besproken, om de juiste subtiele balans te vinden tussen het geven van voldoende richtinggevende leiding en het laten van voldoende constructievrijheid. Als die leiding te strak is, gaat de didactische strategie van expressief modelleren als vanzelf over in het door voorstanders van expressief modelleren veelal juist niet gewenste exploratief modelleren. In Doorman's ontwerp moesten de leerlingen, geleid door de onderwijsactiviteiten en de docent, zoveel mogelijk de beoogde kinematica en bijbehorende grafieken heruitvinden, voortbouwend op hun common-sense kennis en vaardigheden dienaangaande. De vereiste modellen werden dus niet direct in hun eindvorm onderwezen, maar ontwikkelden zich geleidelijk aan tijdens het onderwijsleerproces.

Zijn onderwijstraject begon met een discussie van enkele weersatellietfoto's, vergelijkbaar met stroboscopische foto's, onder andere van een orkaan die de kust van het vasteland bedreigt. De vraag wanneer deze orkaan de kust zal kunnen bereiken, als een voorbeeld van een gewenst kunnen voorspellen van veranderingen (door extrapolatie), was bedoeld om bij leerlingen een behoefte op te roepen aan wiskundige instrumenten voor het preciezer kunnen beschrijven. Deze instrumenten, tezamen met meer kennis over snelheid en verplaatsingen, werden vervolgens geleidelijk ontwikkeld. De leerlingen zochten naar patronen en regelmatigheden in een aantal bewegingssituaties, en naar geschikte manieren om die weer te geven. Ik zal me hier beperken tot het weergeven van de belangrijkste stappen in Doorman's onderwijstraject voor wat betreft de gekoppelde ontwikkeling van symbolen, representaties en begrippen.

- 1 Stroboscopische weergave van bewegingsverschijnselen;
- 2 Stippenkaart van opeenvolgende locaties;

- 3 Verplaatsingen in tabellen en discrete grafieken (Δs en s);
- 4 Discrete grafieken van gemiddelde snelheden ($\Delta s/\Delta t$) in intervallen;
- 5 Benadering van discrete grafieken voor eenparig toenemende snelheid;
- 6 Continue grafieken van de afgelegde afstand en variabele snelheid;
- 7 Helling met lineaire uitbreiding voor het vinden van de momentane snelheid;
- 8 Overgang naar de wiskunde (functies en differentiëren).

Doorman⁴⁵⁴ interpreteert de opeenvolgende wijzen van beschrijving als een serie opeenvolgende intermediaire modellen. Een nieuw model wordt eerst ontwikkeld als een model *van* een situatie, om vervolgens zelf weer als object te fungeren *voor* een volgend conceptueel model. Uitgaande van een duidelijk praktisch doel, start het redeneren van leerlingen vanuit concrete ervaring en blijft daarin ook geworteld gedurende het proces van betekenisgeving en instrumentconstructie. Deze aanpak slaagde er redelijk in om een aantal gebruikelijke leerproblemen met de interpretatie van grafieken te voorkomen⁴⁵⁵. En uit het feit dat uit de gesprekken van leerlingen niet was op te maken of ze wel of niet eerder regulier kinematica-onderwijs hadden gekregen, kan geconcludeerd worden dat zo'n geleidelijke modelleeraanpak iets belangrijks kan toevoegen wat betreft inzicht. Echter, alhoewel de aanpak gericht was op het implementeren van expressief modelleren, wat had moeten leiden tot een productieve variëteit aan leerlingbijdragen om op voort te bouwen, bleek deze variëteit te beperkt. Dit reflecteert de hierboven genoemde spanning tussen constructievrijheid en leiding van docent en leerboek. Het betekent, mijns inziens, dat het toch heel moeilijk is om expressief modelleren in zijn zuivere vorm uit te werken voor een langer durende leeractiviteit. Ook bleek het voor docenten heel moeilijk om de bedoelde 'story line', waarin de noodzaak voor steeds preciezere voorspelling vraagt om steeds preciezere wiskundige instrumenten, goed naar voren te brengen. Dankzij het praktische inhoudelijke doel bleven de geconstrueerde modellen dusdanig geworteld in ervaring dat zich geen noodzaak voordeed om, op metaniveau, te reflecteren op de aard van deze modellen of het modelleren.

Wanneer we deze aanpak echter plaatsen binnen ons (hypothetische) modelleercurriculum lijkt zo'n reflectie wel een waardevolle bijdrage te kunnen leveren. We kunnen in het geschetste onderwijstraject vier belangrijke stappen aanwijzen (figuur 152).

1 Het traject start met een letterlijke interpretatie van een model als een vereenvoudigde schematische weergave van de fysieke werkelijkheid (bewerkte foto's, stippenkaart).

2 Daarna vindt een overgang plaats naar een heel andere interpretatie van het modelbegrip, namelijk in de vorm van een beschrijvend conceptueel model, bestaande uit variabelen en verbanden daartussen en weergegeven in de vorm van discrete tabellen en grafieken.

⁴⁵⁴ We kunnen dit ook beschrijven als een functionele koppeling tussen theorie-toepassing en theorieontwikkeling. Door bekende theorie toe te passen en het gebruik daarvan te bereflecteren, kom je tot een problematisering die weer vraagt om nieuwe theorievorming.

⁴⁵⁵ Met name voor wat betreft de 'kaartachtigheid' van grafieken, dat wil zeggen dat leerlingen een grafiek niet interpreteren als een conceptueel model, maar als vereenvoudigde 'kaart' van de situatie.

3 Overgang van discrete naar continue variabelen, introductie van de tijd als onafhankelijke variabele en wiskundige relaties.

4 Overgang van modellen als beschrijving van de fysische werkelijkheid naar van die werkelijkheid onafhankelijke wiskundige theorie.

Deze overgangen zijn, mijns inziens, van algemenere waarde en het zou daarom, vanuit het doel van het leren over modellen en modelleren, de moeite waard geweest zijn om deze explicieter te bespreken. Daarbij zouden we dit ontwerp ook kunnen uitbreiden met een eerste behandeling van numerieke modellen, zoals hieronder gedemonstreerd.

Inhoud model	Vorm model
<ul style="list-style-type: none"> • De beweging/baan van een object 	kaart met opeenvolgende locaties, eventueel gereduceerd tot een stippenkaart
<ul style="list-style-type: none"> • Verplaatsingen/snelheid Δs en $s = \sum \Delta s$ Δv en $v = \sum \Delta v$	discrete grafieken, tabellen en staafdiagrammen
<ul style="list-style-type: none"> • Bijzondere gevallen: eenparig en eenparig versneld $s(t) = vt$ en $v(t) = at$	continue grafieken en analytische relaties
<ul style="list-style-type: none"> • Algemeen $s(t)$ en $v(t)$ $s(t) = \sum \Delta v \Delta t$ $v(t) = \sum \Delta a \Delta t$	continue grafieken en numerieke benaderingen/relaties

Figuur 152. Opeenvolgende beschrijvende modellen.

Deze uitlijning maakt explicieter dat we te maken hebben met idealisering van bewegingssituaties, waaraan wat Hestenes een ‘material analogy’ noemt, ten grondslag ligt. *“An important case that often goes unnoticed, because it is so subtle and commonplace, is material equivalence of two material objects or systems, whereby they are judged to be the same or identical. I call this an inductive analogy, because it amounts to matching the objects to the same model.”* Het eerste model waarmee deze analogie wordt vormgegeven is een kaart. *“The prototypical kind of model is a map. (...) Maps can be extended to represent motion of an object by a path on the map. I call such a model a motion map. Motion maps should not be confused with graphs of motion, though this point is seldom made in physics and math courses.”* Aldus Hestenes, waarmee hij precies een probleem weergeeft waar het Doorman om te doen was.

We komen ten slotte tot theoretische relaties voor het beschrijven van sterk geïdealiseerde bewegingen, maar met behulp van numerieke benaderingen kunnen we weer dichterbij de realiteit komen. Ik denk dat een behandeling van kinematica die deze modellen en reflecties zou toevoegen, een basis ten aanzien van modellen en modelleren zou leggen, waar op vele plaatsen en manieren op kan worden voortgebouwd.

13.4.4.3 Causaal modelleren

In het voorgaande ging het om beschrijvende modellen. Daarbij hebben we even voor lief genomen dat een ‘echte’ voorspelling dan nog niet mogelijk is. Daarvoor moeten we immers zoeken naar oorzaken achter de verschijnselen, en dat maakt het opstellen van causale verklarende modellen theoretischer en daardoor een stuk moeilijker. Ik wil me daarom hier baseren op de introductie van een aanvankelijk deeltjesmodel, zoals bestudeerd door Vollebregt (figuur 130) en op de introductie cursus voor de mechanica (figuur 133). Gegeven dat deze introducties al uitvoerig aandacht hebben gekregen, kan ik hier volstaan met enkele opmerkingen.

Zo bleek het nodig, als eerste opmerking, dat er een ‘theoretische instelling’ ontwikkeld wordt, dat wil zeggen de intentie en bereidheid om de natuur op een dieper, verklarend, niveau te willen begrijpen. In het oproepen van die instelling speelt de docent een essentiële rol en dan nog is het geen eenvoudige zaak, zoals we gezien hebben. Daarvoor helpt het, al is het niet voldoende, als er een adequate ‘advance organiser’ gebruikt wordt, die leerlingen niet alleen een idee geeft van waartoe het zinvol is om die, hen nog onbekende, leerweg op te gaan, maar ook wat die in essentie zal inhouden. Verder moet de docent dan, op vanuit de voorkennis gezien relevante wijze, een modelkiem introduceren, waarmee de leerlingen op die weg gezet worden, zodat hun theorie-genererend modelleerproces zich productief kan ontwikkelen. Hoe dan ook, de ontwikkeling van causale modellen is de kern van het leren van natuurkunde. In onze voorbeelden bleken de resulterende didactische structuren (uiteraard met opzet) uit drie kolommen te bestaan. Die gaven steeds twee gekoppelde onderwijsleerprocessen weer, waarin leerlingen geacht werden zowel kennis te verwerven van een bepaald model, als over de aard van dat model, zodanig dat beide leerprocessen functioneel gekoppeld en geïntegreerd zijn. Dat wil zeggen dat beide leerprocessen met elkaar verweven zijn en elkaar aandrijven door middel van emergente motieven, die op een natuurlijke wijze kunnen worden opgeroepen. De structuren geven aan hoe de ontworpen ‘story lines’ zich idealiter ontplooiën. Ik denk dat dit een belangrijk kenmerk is, dat algemener toepasbaar is en vruchtbaar bij het ontwikkelen van causale modellen.

In feite werd zo de behoefte aan ‘meta-modelling knowledge’ functioneel geïntegreerd in het onderwijsleerproces, en niet als iets extra’s toegevoegd aan het eind zoals bij Schwarz & White. Of helemaal ontbreekt, zoals bij Doorman. Nu kunt u zich natuurlijk afvragen wat het overstijgende doel kan zijn van zo’n procesreflectie. Gaat het er alleen om leerlingen meer inzicht te geven in hoe wetenschap werkt? Of gaat het er ook om leerlingen op een explicietere manier te leren modelleren? In deze theoretische context bestaat modelleren grotendeels uit het opstellen van creatieve adequate conceptuele hypothesen en het testen daarvan door middel van gedisciplineerd kritisch logisch redeneren in het licht van de beschikbare empirische evidentie. Het lijkt vruchtbaar om leerlingen zich van deze aard bewust te maken, wat zou kunnen bijdragen aan het ontwikkelen van een kritische ‘wetenschappelijke houding’, maar het is twijfelachtig of dit ook kan leiden tot iets wat je het leren van nieuwe overdraagbare modelleervaardigheden zou kunnen noemen.

We zouden dus kunnen concluderen dat in theorie-genererend modelleren, of in de ‘context of discovery’ om het in filosofische termen te zeggen, er geen expliciet onderwijsbare modelleerstrategie mogelijk is, behalve het rekening houden met epistemische waarden. Deze laatste zou je kunnen opvatten als randvoorwaarden voor het modelleerproces. Wanneer aandacht hiervoor op gepaste wijze wordt geïntegreerd in het onderwijsleerproces, spelen zulke waarden een natuurlijke, voor leerlingen welhaast vanzelfsprekende, rol.

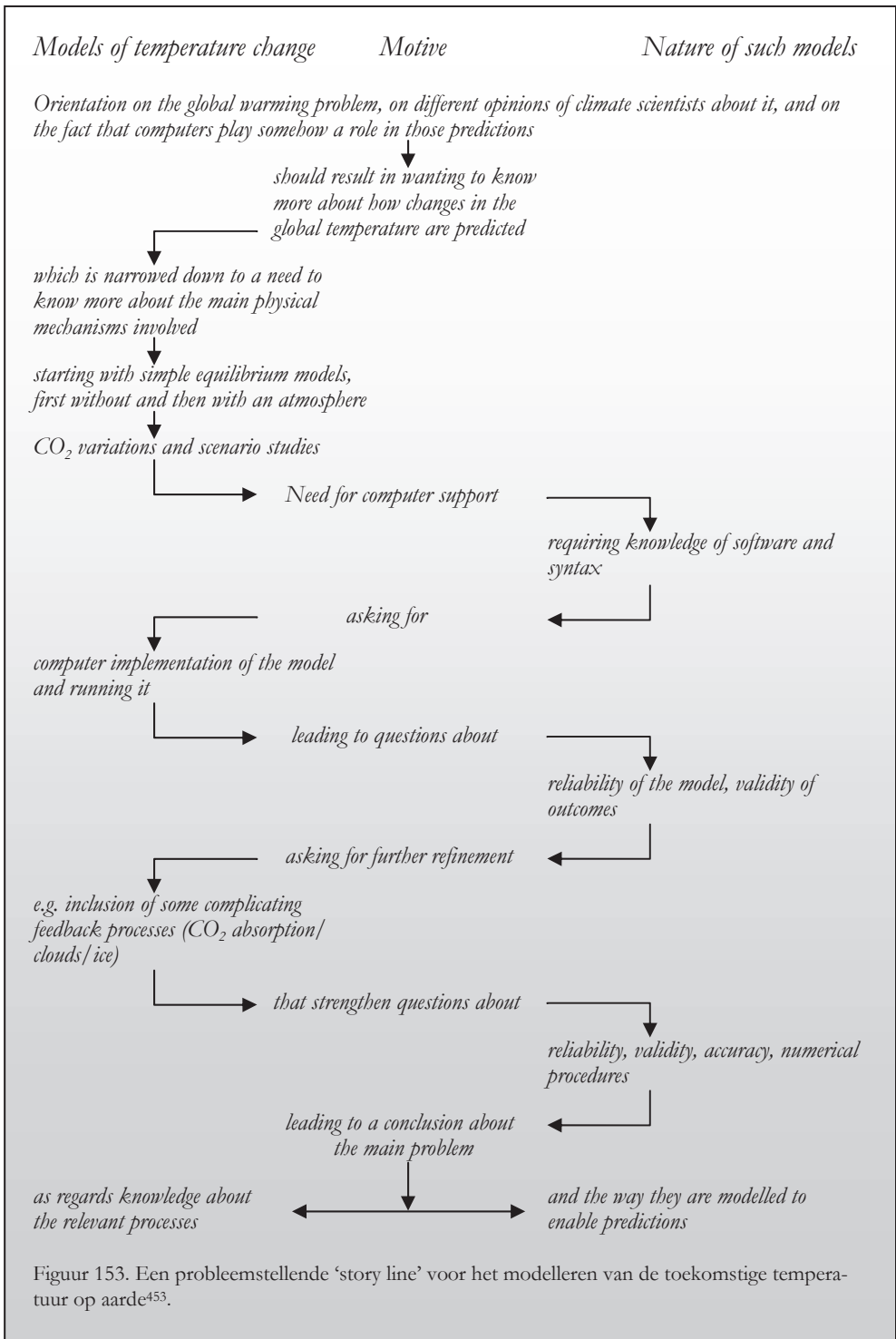
13.4.4.4 Dynamisch modelleren

Mijn conclusie over het expliciet onderwijzen van modelleren wordt echter anders als we het hebben over theorie-toepassend modelleren, zoals al eerder aangegeven bij het bespreken van Hestenes’ aanpak, bijvoorbeeld in het geval van dynamisch numeriek modelleren van complexe situaties. Alvorens hier nader op in te gaan, wil ik eerst iets zeggen over de plaats van dynamisch modelleren in ons natuurkundeprogramma. Numeriek modelleren speelt een rol sinds het DMS-programma van de jaren tachtig, maar het had tot voor kort nog steeds niet echt vaste voet gekregen in ons natuurkundeonderwijs. Een belangrijke reden daarvoor zou kunnen zijn dat de reguliere intracurriculaire toepassingen nogal beperkt zijn, een beetje mechanica, de condensator, warmtetransport en radioactief verval⁴⁵⁶. In andere woorden, de tijd is eigenlijk geen variabele in ons curriculum, ofwel, er is nauwelijks aandacht voor het verloop van processen. Bovendien blijkt uit onze leerboeken dat voor zover dynamisch modelleren aan de orde komt, dit meestal gebeurt door leerlingen het gedrag van een gegeven model te laten onderzoeken, waardoor de modelleeractiviteit zelf buiten het gezichtsveld blijft. Met het oog op het tegenwoordige belang van computermodelleren in wetenschap en techniek valt echter overtuigend te beredeneren dat dynamisch modelleren meer curriculaire aandacht zou moeten krijgen. Zoals ook de Adviescommissie Modelleren beargumenteert. Een geschikt leerdoel voor zo’n curriculumlijn zou kunnen zijn om leerlingen enig inzicht te geven in de manier waarop grootschalige computertoepassingen worden ontworpen en er in slagen om zaken te voorspellen. Om een idee te krijgen van de haalbaarheid van zo’n doel hebben Ormel, Kortland & Savelsbergh^{451,457} een extra-curriculaire lessenserie ontworpen, met als thema het voorspellen van de toekomstige temperatuur hier op aarde, in het licht van de onzekerheid over het opwarmen van onze planeet en de klimaatveranderingen die daarvan het gevolg kunnen zijn⁴⁵⁸. Hun doel is om leerlingen een idee te geven van hoe klimaatwetenschappers zo’n belangrijk praktisch probleem aanpakken en waarom er zoveel diversiteit voorkomt in hun voorspellingen, en dat zelfs ondanks het gebruik van ‘exacte’ computers. Je zou dus, met veel goede wil, kunnen spreken van een gedidactiseerde handelingspraktijk. De probleemstellende ‘story line’ (figuur 153), overgeno-

⁴⁵⁶ Zie <http://www.fisme.science.uu.nl/fisme/nl/> voor uitgebreide informatie over computermodelleren.

⁴⁵⁷ K. Kortland, B. Ormel & E. Savelsbergh (2005). *Computerondersteund modelleren. Voorspellen is moeilijk, vooral de toekomst*. Utrecht: FIsme.

⁴⁵⁸ Ook voor NLT is een aparte module over modelleren ontwikkeld. Zie: K. Hooyman, E. Savelsbergh & A. Veldkamp (2008). *Dynamische Modellen VWO*.

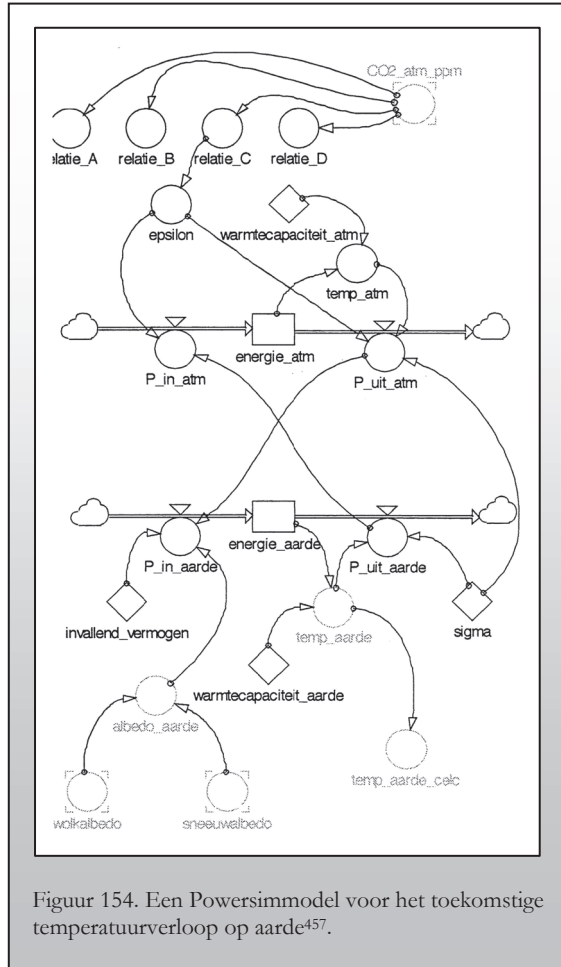


Figuur 153. Een probleemstellende ‘story line’ voor het modelleren van de toekomstige temperatuur op aarde⁴⁵³.

men uit een eerder artikel⁴⁵³, geeft mijn idealisering van hun aanpak (de feitelijke uitwerking wijkt hier op een aantal onderdelen vanaf). Figuur 154 geeft een voorbeeld uit deze lessenserie van een te ontwikkelen model, waarbij gebruik is gemaakt van de modellersoftware Powersim. Opnieuw zijn er enkele behartigenswaardige zaken aan de orde, die van meer algemene aard zijn.

Allereerst wil ik benadrukken dat het hier, idealiter, gaat om een theorie-toepassend modelleerproces met een praktisch doel. Hoewel veel details van de probleemsituatie onbekend zijn voor de leerlingen, zijn de theoretische kernconcepten die moeten worden gebruikt dat niet. En als additionele gesitueerde theoretische kennis nodig is voor het modelleerproces, dan wordt deze eerst op directe wijze aangereikt en bestudeerd, om vervolgens te kunnen worden gebruikt in het modelleren van de relevante probleemsituaties.

Een tweede opmerking is dat ook in deze didactische structuur sprake is van de functionele integratie van twee leerprocessen, enerzijds een inhoudelijk leerproces over modellen voor mechanismen die belangrijk zijn voor het temperatuurverloop op aarde, en anderzijds een reflectief leerproces dat is gericht op kenmerken van numerieke modellen.



Figuur 154. Een Powersimmodel voor het toekomstige temperatuurverloop op aarde⁴⁵⁷.

Het doel van dit modelleerproces is, zoals gezegd, de oplossing van een praktisch probleem, het voorspellen van de toekomstige temperatuur op aarde, wat een methodologische nadruk op betrouwbaarheid en validiteit verklaart⁴⁵⁹: in welke mate wordt het gestelde probleem valide en betrouwbaar opgelost. Ofwel, het benodigde modelleerproces vertoont veel gelijkenis met wat Hestenes bedoelde met modelleren als een specifieke probleemoplosstrategie.

Het gestelde modelleerprobleem bleek in principe inhoudelijk wel haalbaar voor de leerlingen, alhoewel zich ook vele onvermoede praktische problemen voordeden.

⁴⁵⁹ Epistemologische en ontologische vragen staan nu niet meer ter discussie. Het gaat nu immers niet meer om het genereren van kennis, maar om het toepassen.

Meer dan reguliere curriculumonderwerpen, heeft dit complexe extra-curriculaire onderwerp een sterke 'schoenveterstructuur'. Leerlingen moeten beginnen met een reductie van de complexe werkelijkheid tot een eerste sterk vereenvoudigd fysisch model, maar missen de daarvoor benodigde ervaring en situationele kennis. In feite zijn de eerste modellen nu precies bedoeld om hen van die kennis te voorzien en hen daarmee op het goede spoor te zetten. De rol van de docenten was daarom in eerste instantie vooral ook bedoeld om leerlingen voor te doen en met hen te bespreken hoe je zo'n eerste model opstelt, en waarom dat een verstandige aanpak is (meester-gezel). Dit bleek echter een groot didactisch probleem voor de docenten, zodat met name de invulling van het thema 'leren modelleren' voor leerlingen niet of in ieder geval onvoldoende uit de verf kwam⁴⁶⁰. Teveel nadruk kwam te liggen op de inhoud van de feitelijke modellen en te weinig op het hoe en waarom daarvan, ofwel op het modelleren. Dit brengt mij tot overtuiging dat het om het thema 'leren modelleren' in dit verband echt vorm te geven, zodat er ook de nodige transfer van een geleerde modelleerprocedure naar andere te modelleren problemen verwacht mag worden, nodig is om deze procedure voor dit type toepassingsproblemen nader uit te werken en op de een of andere manier expliciet te onderwijzen. Daarmee sluit ik dus ook wat dit betreft aan bij de opvatting van Hestenes. Mijn opvatting wordt ook ondersteund door de analogie met het werk van Kortland, die tot de conclusie kwam dat het voor het onderwijzen van besluitvorming ten aanzien van 'socio-scientific issues', gewenst was om leerlingen, in reflectie op hun eigen besluitvormingservaringen tot dan toe, een procedure te laten expliciteren, die zou kunnen gaan functioneren als metacognitief instrument bij het handelen in volgende besluitvormingssituaties.

13.4.4.5 Leren dynamisch modelleren

Waarmee de vraag gesteld is hoe zo'n modelleerprocedure dan het best geformuleerd en onderwezen kan worden. Alvorens daarop in te gaan, is het dienstig eerst te kijken naar de uitwerking van de modelleereindterm. Dan weten we tenminste wat van ons verwacht wordt. Uit figuur 155 blijkt, alhoewel dat nergens expliciet gezegd wordt, dat het alleen gaat om theorie-toepassend computermodelleren, dus om numerieke dynamische modellen. Dat vind ik niet alleen verrassend, maar ook principieel onjuist. Ik vraag me af wat voor afwegingsproces hieraan ten grondslag heeft gelegen, maar in ieder geval is het dus terecht als we ons afvragen hoe je deze modelleervaardigheden zou kunnen onderwijzen.

Mijn inschatting zou zijn dat dit het best gedaan kan worden als een systeem van heuristische regels, die enerzijds zo specifiek mogelijk moeten zijn en anderzijds toch breder toepasbaar. Zoals eerder besproken zou ook deze heuristiek het resultaat moeten zijn van reflectie van leerlingen op hun eigen modelleergedrag. Zo'n systeem geeft dan structuur aan het te expliciteren inzicht hoe computermodelleren 'werkt', en

⁴⁶⁰ Opnieuw deed zich het probleem voor dat de definitie van model als vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid in eerste instantie vooral problemen oproept. Het leidde tot een vereenvoudigde tekening (als 'kaart') van de situatie van het systeem aarde en zon, waaraan te lang werd vastgehouden, waardoor de overgang tot een conceptueel model in termen van energiestromen eerder werd geblokkeerd dan bevorderd.

daarmee zou het de mogelijkheid kunnen vergroten dat leerlingen een volgend probleem op een meer gestructureerde manier aanpakken⁴⁶¹. Alhoewel het natuurlijk altijd zo is dat de werkelijke inhoudsgebonden creatieve stappen in een modelleerproces nooit afgedwongen kunnen worden, en dat het actuele proces altijd sterk ingebed is en gestuurd wordt door de actuele inhoud van wat aan de orde is, kan een systeem van heuristische regels wel degelijk helpen om een moeizaam of zelfs vastgelopen modelleerproces reflectief te structureren en te repareren.

Specificatie eindterm Modelvorming

De kandidaat kan

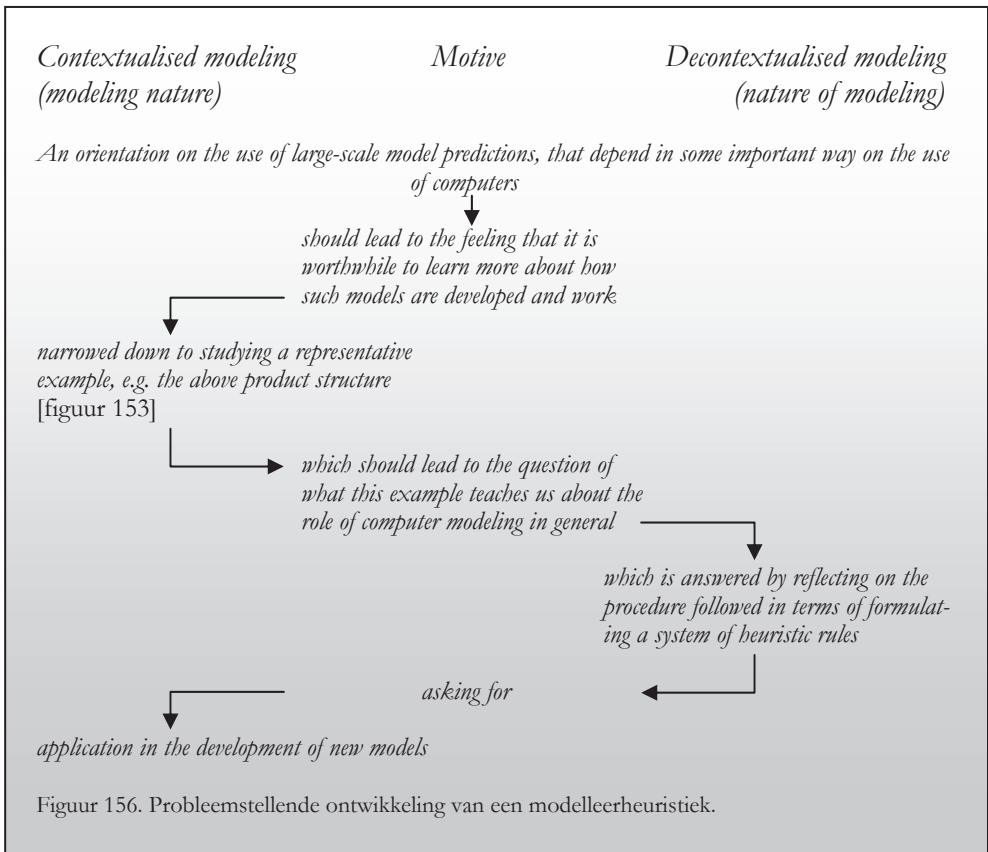
- 1 relevante grootheden en relaties in een probleemsituatie identificeren en door aannamen en vereenvoudigingen het probleem inperken tot een onderzoekbare vraagstelling,
- 2 waarden en foutmarges van modelparameters schatten op basis van gegevens,
- 3 toetsbare verwachtingen formuleren over het gedrag van het model,
- 4 modellen die geformuleerd zijn in termen van differentievergelijkingen omzetten naar een werkend computermodel en dit model met een geschikte tijdstap doorrekenen,
- 5 standaard modelstructuren herkennen en het gedrag van deze modelstructuren toelichten en onderzoeken; in ieder geval verval/groei (1e orde) en oscillaties (2e orde),
- 6 een model evalueren op basis van uitkomsten, verwachtingen en (meet)gegevens, rekening houdend met eventuele foutmarges in modelparameters,
- 7 modellen, modeluitkomsten en evaluatieresultaten op geschikte manieren presenteren en toelichten,
- 8 aan de hand van voorbeelden uitleggen hoe grenzen aan de voorspelbaarheid kunnen voortkomen uit: onzekerheden in het model; beperkte reken capaciteit en chaoticiteit.

Figuur 155. Gespecificeerde modelleereindterm in termen van modelleervaardigheden (uit NINA-Syllabus, werkversie 2, CvE).

Een didactische structuur die tot doel heeft om zo'n modelleerheuristiek te expliciteren (zie figuur 156) zou moeten starten met een oriëntatie waarin niet het te modelleren conceptuele probleem, maar de modelleerprocedure als zodanig als leerdoel ge-problematiséerd wordt. Waarmee het voor leerlingen ook relevant wordt om te komen tot het formuleren van zo'n procedure. Waar zou zo'n heuristisch instrument uit kunnen bestaan? Natuurlijk kan dit op verschillende detailniveaus geformuleerd worden⁴⁶², maar om een algemeen idee te geven kunnen we denken aan de volgende categorieën, waarvan de invulling ten dele ontleend is aan de genoemde modelstructuren van Hestenes.

⁴⁶¹ Dat dit nog niet zo eenvoudig is, blijkt wel uit het feit dat zowel de NLT-module⁴⁵⁵, als de door Ormel gebruikte lessenserie⁴⁵¹ wat dit betreft duidelijk tekort schieten.

⁴⁶² Deze heuristiek kan ook theoriespecifiek geformuleerd worden, bijvoorbeeld voor mechanicaproblemen, of voor thermodynamische problemen, etc. Dit kan omdat het hier gaat om toepassingsproblemen, waarvoor de benodigde theorie in principe bekend is.



- 1 Oriëntatie – Oriëntatie op de probleemstelling, is die begrijpelijk en voorstelbaar? Wat zijn bekende en onbekende elementen? Zijn er analoge/verwante eenvoudiger problemen die bekend zijn? Welke kennis/theorie/model is nodig voor de oplossing?
- 2 Analyse en reductie – Analyseer en reduceer de probleemsituatie in termen van de benodigde theorieën: bepaal het relevante systeem, de (theoretisch gereduceerde) objecten waar het om gaat, de variabelen, bekende en gewenste relaties. Analyseer de probleemsituatie ten aanzien van de dynamische karakteristieken: welke invloeden werken er, waarop en wat zijn hun mogelijke effecten? Welke lijken de belangrijkste te modelleren oorzaken/effecten en welke lijken van tweede orde?
- 3 Probleem oplostraject – Verdeel het probleem in een aantal opeenvolgende deelproblemen van toenemende complexiteit. Start met een reductie tot een simpel grotendeels *bekend* systeem, c.q. kernmodel, waarvan het kwalitatieve systeemgedrag begrijpelijk is. Volgende stappen bestaan uit stapsgewijs complexer maken van het systeem/model door factoren in volgorde van verondersteld belang aan het model toe te voegen, en je steeds af te vragen hoe een toegevoegde factor het systeemgedrag zou kunnen beïnvloeden, juist met het oog op terugkoppelingseffecten.
- 4 Numerieke modelconstructie – Construeer en implementeer het eerste kernmodel: construeer de relevante differentievergelijkingen, bepaal een adequate tijdstap, en ade-

quate startwaarden voor de variabelen en modelparameters (dit alles volgens de syntax van het gebruikte modelleerprogramma).

5 Test en evaluatie – Test en evalueer het gedrag van het model voor het eerste partiële probleem en vergelijk het met de kwalitatieve verwachtingen. Bepaal zo nodig de nauwkeurigheid wat betreft onzekerheden in parameterwaarden en numerieke benaderingen.

6 Fine-tuning en uitbreiding – Optimaliseer het model en breidt het uit volgens toename in complexiteit.

7 Evaluatie – Herhaal deze cyclus totdat het uiteindelijke model een bevredigend antwoord geeft op het hoofdprobleem.

Er is mij geen ervaring bekend ten aanzien van de vraag of zo'n heuristiek voor (numeriek) modelleren haalbaar is en of deze procedure transfer kan bevorderen. Dat wil zeggen, of er op die manier dus inderdaad sprake kan zijn van een explicietere manier van 'leren modelleren', dan leerlingen er alleen een aantal keren ervaring mee laten opdoen. Zoals gezegd, zou de heuristiek de uitkomst moeten zijn van door de docent geleide, gezamenlijke reflecties op feitelijke modelleerervaring van leerlingen, zodat deze herkend en erkend wordt als een gestructureerde weergave van de procedurele stappen die leerlingen zelf, zij het samen met de docent, in een succesvol modelleerproces hebben genomen.

13.4.5 Afronding

In het voorgaande heb ik het onderwijzen van en over enkele modellen gebruikt als model voor het reflecteren over onderwijzen van en over modelleren. Dat is een te geringe ervaringsbasis om op grond daarvan vergaande conclusies te kunnen trekken. Toch wil ik daar hier een poging toe doen in het licht van mijn eerdere pleidooi voor een curriculumperspectief op modelleren, waarbij ik onderscheid heb gemaakt tussen expressief en exploratief modelleren, tussen theorie-genererend en theorie-toepassend modelleren, en tussen common-sense, beschrijvend, causaal en numeriek modelleren. In een goed ontworpen modelleercurriculum hebben al deze vormen een geëigende plaats en functie. Zo kan er, wanneer het onderwerp dat toelaat, sprake zijn van expressief modelleren, maar veelal zal er eerder sprake zijn van meer of minder expressieve ruimte binnen een exploratief traject, waarbij met toenemende inhoudelijke complexiteit een steeds grotere rol zal zijn weggelegd voor de docent. Theorie-genererend modelleren is in feite niets anders dan een bepaalde wijze van 'nieuwe theorie behandelen', en komt dus voortdurend aan de orde. Deze bepaalde wijze houdt steeds in dat er ruime aandacht is voor de 'mental models' van leerlingen en voor het modelkarakter van nieuwe kennis, waarbij de docent, om dit te benadrukken, hetzij reflectief, hetzij proactief, het modelleren steeds moet laten leven, respectievelijk 'voorleven'. Theorie-toepassend modelleren speelt ook een rol in het hele curriculum. Van het oplossen van relatief eenvoudige 'end-of-chapter' problemen, tot speciaal ontwikkelde complexe modelleeropdrachten, waarin ook regelmatig plaats is voor numerieke problemen. Dit geeft de mogelijkheid om de beschreven modelleerheuristiek, theoriespecifiek, geleidelijk op te bouwen van eenvoudig naar complex, en ook

steeds toe te passen, waarbij ook hier de docent zowel de explicitering als de toepassing steeds moet 'voorleven'. Zo kan 'leren modelleren' de rol en betekenis krijgen die het heeft in natuurkundig handelen.

Niet iedereen maakt trouwens dit onderscheid tussen deze verschillende aspecten van modelleeronderwijs. Zo schrijft Van Joolingen⁴⁶³, in een commentaar op een aantal artikelen over onderwijs en modelleren, als volgt: *“Zowel Löhner als Prins zetten een modelleergereedschap in voor de constructie van een model over een ‘alledaags’ onderwerp. Leerlingen construeren modellen en laten die door de tool doorrekenen. Doorman tracht voor zijn onderwerp leerlingen het proces door te laten maken van de constructie van modellen, door daarbij het begrip snelheid te laten heruitvinden. Hier zien we verschillen in doel en methode. Terwijl bij Prins en Löhner de leerlingen een modelleertool gebruiken om hun eigen ideeën vorm te geven in een uitvoerbaar model, tekent de tool van Doorman een aantal vooraf vastgelegde grafieken op basis van door de leerling ingevoerde data. Doorman benadrukt de heruitvinding van een bestaand model, volgens een van te voren uitgedacht traject, het “hypothetisch leertraject”. Op twee manieren doet Doorman daarmee geen recht aan modelleren als instrument voor het onderwijs. Ten eerste wordt niet de kracht van modelleertools met betrekking tot het implementeren van een empirische cyclus van construeren van een model, genereren van uitkomsten en evaluatie van die uitkomsten benut. Ten tweede is de veronderstelling van het bestaan van een hypothetisch leertraject strijdig met de essentie van modelleren, waar immers studenten zelf onverwachte oplossingen kunnen genereren voor de problemen die ze onderzoeken.”*

Van Joolingen maakt hier de, mijns inziens, didactische vergissing om alleen expressief modelleren als acceptabele vorm van authentiek modelleeronderwijs te zien. Als het echter niet gaat om open problemen, maar om het leren van canonieke theorie, dan is de expressieve weg daarnaar toe voor leerlingen vaak geplaveid met onnodige obstakels. Het is immers didactisch weinig effectief om leerlingen, zoals we bij het CLISP-voorbeeld gezien hebben, eerst allerlei voor hen zinvolle wegen in te laten slaan, om hen vervolgens te moeten meedelen, zonder dat op hun niveau echt te kunnen argumenteren, dat die toch niet 'goed' zijn. Mijns inziens verdient een goed doordachte exploratieve probleemstellende leerweg daarom, in dat soort situaties, veelal de didactische voorkeur.

Uit het voorgaande blijkt overigens ook dat het in een goed ontworpen probleemstellend onderwijsleerproces inderdaad mogelijk is om een functionele koppeling aan te brengen tussen het ontwikkelen van een model en reflectie op de aard van het model. Of preciezer, theorie-genererend modelleren kan geleidelijk aan leiden tot functionele kennis van de epistemologische randvoorwaarden voor gedisciplineerd wetenschappelijk redeneren, waarbij ook ontologische aspecten op een functionele wijze aan de orde kunnen komen; theorie-toepassend modelleren kan geleidelijk aan leiden tot de ontwikkeling en functionele implementatie van een systeem van modelleerheuristieken, waarin juist de methodologische reflectie een plaats heeft. Voor het bereiken van deze functionele koppelingen en opbrengsten lijkt het van doorslaggevend belang om de leerprocessen van leerlingen steeds te laten voortvloeien uit heldere en adequate, daarop gerichte doelen. Dat is echter eenvoudiger gezegd dan gedaan, omdat het uitgaan van, en vasthouden aan, zulke doelen en motieven als een rode draad voor het leren

⁴⁶³ W.R. van Joolingen (2003). Commentaar: modelleren als authentieke activiteit. *TD-β*, 20, 73-76.

van leerlingen, voor docenten niet eenvoudig is. Het vraagt om een grote verandering in hun didactisch repertoire, omdat ze in het algemeen niet gewend zijn om zowel op een inhoudelijk-didactisch als reflectief meta-didactisch niveau tegelijk te werken. Ofwel, ze zijn niet gewend om veel aandacht te besteden aan de noodzakelijke procedurele en inhoudelijke reflectie-activiteiten. Het bereiken van 'leren modelleren' als onderwijsdoel hangt daar wel op doorslaggevende wijze van af!

Dat brengt me tot een laatste opmerking. Het is frappant dat in de Amerikaanse literatuur de aandacht voor modelleren zijn oorsprong vond in de problematiek van de misconcepties. Aandacht voor modelleren had (en heeft) als hoofddoel om te komen tot een inzichtsbetrukkende didactiek. Daarover gaat Hestenes' werk met de 'Force Concept Inventory', evenals zijn instructietheorie voor modelleren, die er vooral op gericht is om leerlingen en docenten te 'dwingen' zorgvuldiger en systematischer te laten werken bij het modelleren van fysische problemen. Ook een recent ontwikkelde 'learning progression for scientific modeling'⁴⁶⁴ is daar volledig op gericht, het woord computer komt er niet in voor. Hoe anders is, wat dat betreft, de situatie in ons land⁴⁶⁵. Hier lijkt alles gericht op het zo veel en zo vroeg mogelijk introduceren van computermodellen, bij voorkeur met behulp van grafische modelleertools als Coach of Powersim. Dit soort programma's, dat gemaakt is om leerlingen gemakkelijker te laten werken met modellen, bevordert, mijns inziens, juist eerder een slordige modelleeraanpak. Het precieze fysisch analyseren wordt zo ondergeschikt gemaakt aan het opstellen van een model. Kortom, dat lijkt me geen goede ontwikkeling!

13.5 Afsluiting

In dit hoofdstuk heb ik drie onderwerpen besproken die, gestimuleerd door de curriculumvernieuwingen in ons land, juist deze eeuw een grote ontwikkeling hebben doorgemaakt. Lag eind vorige eeuw het accent nog enigszins bij de didactische verbetering van de begripvorming en het te bereiken inzicht, daarover heeft nu niemand het meer. In feite lijkt de prioriteit verschoven van inzicht naar motivatie, en de drie besproken 'doe-vaardigheden' spelen daarin een cruciale rol. De belangrijkste didactische aanwijzing bij deze 'doe-activiteiten' in de visie van NINA was 'leren door doen'. En natuurlijk moet je deze vaardigheden verwerven door te doen, te oefenen, maar dat is niet voldoende. Alleen in een echte meester-gezel praktijk, waarin voortdurend individuele terugkoppeling kan plaatsvinden, zou leren door doen een effectieve didactiek kunnen zijn. In onze schoolpraktijk is het dat echter meestal niet. Er dient ook

⁴⁶⁴ C.V. Schwarz, B.J. Reiser, E.A. Davis, L. Kenyon, A. Acher, D. Fortus, Y. Shwartz, B. Hug & J. Krajcik (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46, 632-654.

⁴⁶⁵ O. van Buuren, P. Uylings & A.L. Ellermeyer (2011). A modelling learning path, integrated in the secondary school curriculum, starting from the initial phases of physics instruction. In: *Proceedings GIREP-ICPE-MPTL Conference 2010, Teaching and Learning Physics Today: Challenges*. Reims.

E. Savelsbergh (2007). Aanzet tot een curriculum. *Nieuw Archief voor de Wiskunde*, 5, 1-7.

gewoon kennis onderwezen te worden, waarbij deze kennis het beste gekoppeld kan zijn aan een heuristiek. Niet als recept van hoe je moet doen, maar als hulpmiddel om, zo nodig, je gedachten te ordenen. Dat is gemeenschappelijk aan het leren van deze vaardigheden, dat vraagt om een doordachte opbouw en planning, in termen van actie en reflectie. Daarnaast geldt voor alle drie dat er een gevaar is dat we hierin doorslaan. Deze vaardigheden hebben enerzijds een oriëntatiefunctie op studie en beroep en anderzijds dragen ze bij aan geletterdheid. Om aan beide functies te kunnen voldoen is differentiatie in didactiek nodig. Hier lijkt weinig oog voor te zijn. De oriëntatiefunctie houdt in dat leerlingen een idee krijgen van hoe deze activiteiten een rol spelen in latere studie en beroep, maar niet dat ze die activiteiten volwaardig moeten leren uitvoeren. De geletterdheid wordt vooral gediend met inzicht in en reflectie op hoe de resultaten van deze activiteiten maatschappelijk gebruikt worden. Daarvoor is enige ervaring met de activiteit zelf nuttig, maar nuttiger is enig reflectief inzicht in hoe de professional te werk gaat. Het didactische debat wordt te sterk gedomineerd door de wens om meer leerlingen te interesseren in bètastudies. Nog versterkt door het (overdreven?) focus op excellentie en ontwikkeling van talent. Onderzoeken en ontwerpen, en in mindere mate computermodelleren, zijn daarin de zaken bij uitstek die leerlingen de gelegenheid moeten bieden om leuke dingen te doen! Een bijzondere rol speelt hierin het Technasium. Ik snap dat leerlingen het kunnen werken aan authentieke opdrachten uit het bedrijfsleven heel boeiend vinden. Op zich is die betrokkenheid van buitenschoolse instanties natuurlijk ook heel positief. Kortom, het succes van deze 'aan de keukentafel' (zie de Technasium-website) uitgevonden vernieuwing verdient alle bewondering. Maar gezien de eerdere conclusie dat de mate van beheersing van vakinhoudelijke kennis in grote mate bepalend is voor de kwaliteit van de uitvoering van onderzoeks-, ontwerp- en modelleeractiviteiten, ontkom ik er niet aan om me af te vragen wat dit betekent voor de inhoudelijke kwaliteit van de leerlingactiviteiten op het Technasium.

14 Conclusie: elke maatschappij krijgt...

Het doel van deel 3 was om te bespreken hoe bijdragen uit de onderwijskunde, de onderwijspsychologie en de 'science education research', over een tijdsbestek van bijna een halve eeuw, hebben bijgedragen aan didactiekvernieuwing en verbetering van het natuurkundeonderwijs. Echter, merkwaardigerwijs, eindigt ook dit deel blijkbaar met de conclusie dat het vooral maatschappelijke motieven zijn, die momenteel de belangrijkste didactische innovaties stimuleren. Nadat het onderwijskundige credo van de Tweede Fase, vakspecifieke kennis inwisselen voor algemene vaardigheden, eenmaal op hoofdlijnen was geaccepteerd, is het bepalend geweest voor veel didactische ontwikkelingen daarna, zij het dat de vorm waarin niet meer dwingend wordt opgelegd. En zij het dat naast algemene, nu juist ook bètaspecifieke vaardigheden worden benadrukt. In de bètarichting is deze onderwijskundige nadruk nog versterkt door de maatschappelijke druk om de 'economie te redden'. Hoe krijgen we zoveel mogelijk talentvolle leerlingen de bètarichtingen in, daar is de hele beeldvorming, in onderwijs en maatschappij, nu op gericht! En dit uitgangspunt bepaalt niet alleen de inhoudelijke curriculumvernieuwing, maar ook grotendeels de didactische vormgeving en praktijk. Gegeven al dit grotere geweld, is de invloed van op onderzoek gebaseerde, didactische theorievorming op de onderwijspraktijk in ons land eigenlijk volstrekt marginaal tot nihil geweest. Helas, of terecht?

Laat ik proberen deze beweringen verder te onderbouwen. Dit deel begon met een bespreking van de doelstellingen-optiek van het behaviorisme. Doelstellingen moeten nog steeds geformuleerd worden, met name als het gaat om duidelijk te maken wat een nieuw programma nastreeft, en hoe dat getoetst zou moeten worden. Dus dat gebeurt nog steeds. Maar dat de muggenzifterige nadruk op gedetailleerde operationele doelstellingen vrijwel is verdwenen, zal niemand betreuren. Dat geldt, denk ik, ook voor geprogrammeerde instructie, dat is niet meer van deze tijd. Echter, dat 'time on task' een zeer belangrijke instructievariabele is, geldt nog steeds. Al heeft 'mastery learning', in zijn vaak nogal technocratische uitwerking, ook het veld moeten ruimen. Niet omdat het in de praktijk niet zou werken, maar omdat het gewoon is 'uitgestorven'. Het is immers theoretisch geïnspireerd op het behaviorisme, op het uitgangspunt dat het (ook in onderwijs) alleen zou gaan om manipuleerbaar observeerbaar gedrag, en niet om inzicht in mentale processen. En dat neemt niemand meer serieus.

Piaget hield zich wel bezig met zulke mentale processen, zij het vooral van een bepaalde soort: logische cognitieve denkpatronen en de ontwikkeling daarvan. Zijn theorie was aanvankelijk inspirerend voor zowel curriculumontwikkeling als onderwijspraktijk. Een belangrijk argument daarvoor was dat het een cognitieve weg leek te effenen tot 'natuurkunde voor iedereen'. Maar van Piaget is nu niet veel meer over dan het common-sense idee dat je in het natuurkundeonderwijs zo concreet mogelijk moet beginnen en voorzichtig moet zijn met het al te snel invoeren van teveel abstrac-

tie. Als middel om cognitieve differentiatie te reguleren, wordt zijn sterk aangevochten theorie, in ieder geval in het natuurkundeonderwijs, niet meer gebruikt. En alhoewel de formele denkpatronen wel degelijk mede ten grondslag kunnen liggen aan inhoudelijke redeneerproblemen, zeker in het exacte onderwijs, hebben alleen de op het CASE-project gebaseerde 'Denklessen' nog beperkte actuele toepassing. Eén van de redenen van de populariteit van Piaget's niveautheorie lag overigens in de toenmalige maatschappelijke nadruk op leerlinggericht onderwijs. En op alle leerlingen zo lang mogelijk meenemen, ook in de natuurkundeles.

Een nadruk die zich ook uitte in de onderwijsaandacht voor het zelfontdekkende kind. Het Piagetaanse constructivisme heeft grote invloed gehad, maar heeft het, vanwege de overwegende nadruk op het individuele kind in interactie met zijn materiële wereld, uiteindelijk toch moeten afleggen tegenover een meer Vygotskiaanse benadering. Het de-ontwikkeling-volgend onderwijs, tegenover de-ontwikkeling-bevorderend onderwijs. Met cultuuroverdracht als een sociaal proces (enculturatie), waarin de volwassene het kind 'voorleeft' wat geleerd moet worden, al moet dat natuurlijk (in zijn zone van naaste ontwikkeling!) wel inpasbaar zijn voor de lerende. De huidige nadruk op basisvaardigheden en aanscherping van de eisen past in dit patroon. 'Discovery learning' (à la Bruner en Piaget) bleek geen productieve benadering, al heeft het wel veel enthousiasme losgemaakt, zowel onder curriculumontwikkelaars als onder docenten. Leerlingen 'echt' natuurkundig bezig laten zijn, sprak en spreekt velen aan. De ontwikkeling van het practicum heeft daarvan sterk geprofiteerd, al was de uitvoering daarvan vaak geslotener dan bedoeld door de echte adepten van ontdekkend leren. Bovendien, af en toe een practicumles is toch echt iets heel anders dan ontdekkend leren!

Omdat leerlingen nu eenmaal niet als inhoudelijk onbeschreven bladen het onderwijs binnenkomen, en de afstand van de te leren natuurkundige begrippen tot wat er al op die bladen geschreven staat vaak te groot is, bleken leerlingen meestal niet dát te construeren wat zij juist geacht werden te ontdekken. In de plaats van de Piagetniveaus en het ontdekkend leren, kwamen de pre- en misconcepties in het vizier, en theorieën over 'conceptual change'. Dat heeft veel waardevol inzicht opgeleverd over hoe leerlingen kennis construeren en over hoe we de complexiteit daarvan gewoonlijk sterk onderschatten. En dus ook over hoe dat in de natuurkundeles ontzettend mis kan gaan als er onvoldoende wordt aangesloten op die voorkennis en het behandelings-tempo te hoog ligt. Toch hebben de pogingen om constructivistische onderwijsstrategieën te vinden in principe niet veel meer opgeleverd dan dat je (sociale) ruimte moet geven aan, en tijd moet nemen voor, de constructies van leerlingen. Goed naar hen moet luisteren om hen echt te begrijpen, om daar op een goede manier op voort te kunnen bouwen. En daarvoor is geen kant-en-klaar recept, deze didactische vaardigheid zal elke docent zich zelf moeten eigen maken. Dat verklaart wellicht dat de aandacht hiervoor in de praktijk nooit erg groot is geweest. Bovendien waait de maatschappelijk-pedagogische wind inmiddels weer uit een andere hoek. De sterke aandacht voor pre- en misconcepties en een daarop te richten constructivistische didactiek ontstond immers in de nadagen van de leerlinggerichte tijdsgeslacht. In de huidige individuele, resultaatgerichte atmosfeer hoor je er dus nauwelijks meer over.

Het gebruik van de mogelijkheden van ICT kan, zoals besproken, zeker helpen bij een

op adequate begripsvorming gerichte constructivistische didactiek, maar moet ook niet overschat worden. Het kan een goed en specifiek hulpmiddel zijn, niet meer en niet minder. Hetzelfde geldt trouwens voor inzet in de huidige vaardigheidsbeweging. Ondanks het feit dat het al van oudsher zo is dat de effecten van ICT in het onderwijs bij lange na niet voldoen aan wat ‘deskundigen’ beloven, lijkt het nog steeds zo te zijn dat hoe digibeter de onderwijsbestuurder, hoe meer accent hij lijkt te leggen op nog meer inzet van ICT.

Hoe dat ook precies zij, in ieder geval heeft ICT wel veel invloed gehad op de natuurkundige onderwijspraktijk. Iets wat overigens weinig te maken heeft met didactische theorievorming, maar veel meer met de algemene maatschappelijk-technologische ontwikkeling. Ofwel, met ‘technology push’! En uiteraard ook met het feit dat je juist bij natuurkundedocenten toch een welwillender en deskundiger houding mag verwachten ten aanzien van technologie- en computertoepassing.

In de natuurkundige onderwijspraktijk in ons land heeft dit constructivisme, tenminste als we kijken naar de leerboeken, weinig sporen achtergelaten. Toch heeft deze periode van onderzoek naar begripsproblemen en begripsontwikkeling veel wetenschappelijk didactisch relevant inzicht opgeleverd, met name ook voor wat betreft de relatie tussen natuurkunde en common-sense. Maar als je eerlijk kijkt naar wat ‘constructivist research-based instruction strategies’ hebben opgeleverd aan cognitieve leereffecten, ontkom je niet aan de conclusie dat ‘verbeterde directe instructie’ wat dat betreft meer effect lijkt te sorteren. Onderzoek van constructivistische didactiek-designs geven steeds aan dat docenten en leerlingen, en natuurlijk de design-onderzoekers zelf, redelijk tot zeer tevreden zijn, dat de aanpakken redelijk tot zeer succesvol zijn, maar uit vergelijkend onderzoek blijkt meestal dat de nieuwe aanpakken het cognitief hooguit niet slechter doen dan de ‘traditionele’. En dat komt eigenlijk goed overeen met de overigens nogal overtrokken kritiek op al deze benaderingen die op een of andere manier gebruik maken van ‘minimal guidance’, dat wil zeggen waarin in belangrijke mate ruimte is voor de eigen constructies van leerlingen. Desondanks is de roep om ‘inquiry learning’, al of niet ‘guided’, nog onverminderd groot. Kennelijk is er een belangrijke maatschappelijke vraag naar een onderwijsvisie waarin leerlingen toch meer vrijheid en zelfstandigheid hebben, dan, puur cognitief gezien, het effectiefst zou zijn. En daarin speelt ook steeds het aloude idee van ‘echt natuurkundig’ bezig zijn, wat juist fysici en docenten aanspreekt ondanks de bekende didactische problemen daarmee, een toonzettende rol.

De onderwijspsychologie vraagt al geruime tijd, vooral op theoretische en veel minder op empirische gronden, ruime aandacht voor de ontwikkeling van cognitieve en meta-cognitieve, (zelf)regulerende vaardigheden, evenals voor een daarvoor noodzakelijke activerende didactiek. Leren probleemoplossen en zelfstandig leren leren zijn daarvan de bekendste algemene voorbeelden. Vooral dit laatste is ook weer sterk maatschappelijk bepaald. Wat die vaardigheidsontwikkeling nu precies praktisch inhoudt, is nog niet altijd even duidelijk, maar dat heuristieken (of studiewijzers) daar in het onderwijs een goede rol in kunnen vervullen, daarover lijkt men het wel eens te zijn. In het natuurkundeonderwijs valt deze nadruk op vaardigheidsontwikkeling goed te verenigen

met de inhoudelijke vraag van fysici en technici om die vaardigheden te concretiseren in het leren onderzoeken, ontwerpen en modelleren. Dat zijn dus twee krachten die elkaar versterken. Omdat er vanuit gegaan wordt dat aandacht hiervoor ook motivatieverhogend zal werken, kan er als derde kracht een sterke maatschappelijke druk aan worden toegevoegd. En zo werkt iedereen tevreden en enthousiast in dezelfde richting, zonder dat duidelijk is of het ook zal gaan werken.

Zeker, als je naar de leerboeken kijkt van vijftig jaar geleden en naar die van nu, is er veel veranderd. Maar dat is toch vooral op voorgrondkenmerken, veel plaatjes en kleur, meer en andere experimenten, ander taalgebruik, leerlingvriendelijker, meer differentiatie, etc. Behalve dat er meer aandacht is voor vaardigheden, is het best heel moeilijk om daarin nog meer wetenschappelijk gemotiveerde didactische veranderingen aan te wijzen. Dat stemt, als didactisch onderzoeker, dus tot bescheidenheid.

Natuurlijk, de leerlingen, de docenten en de manier waarop les gegeven wordt, zijn wel degelijk veranderd. Die en dat moeten modern zijn en passen bij de maatschappelijke eisen van deze tijd. Ook het common-sense denken over onderwijs is natuurlijk veranderd. Maar de concrete invloed van vakdidactisch en/of leerpsychologisch onderzoek is ook daarin meestal moeilijk te ontdekken! En daar ging dit deel van dit boek toch juist over? Komt dit nu doordat deze wetenschappen eigenlijk weinig te bieden hebben voor die praktijk, of doordat ze die praktijk nog steeds niet bereiken. De aloude theorie-praktijkkloof dus? Misschien, lezer, als u er nog bent, kunt u dat het beste zelf beoordelen!

15 Epiloog

“The times they are a-changing.”
Bob Dylan (1964)

Aan het eind gekomen van dit boek, nog een korte afsluiting. Ik ben dit boek begonnen met een persoonlijk relaas, waarin ik veel vragen heb geformuleerd, die in dit boek aan de orde zouden komen. Vragen als: wat is er eigenlijk allemaal veranderd in het natuurkundeonderwijs? En waarom dan, en heeft dat ook gewerkt? Wat is eigenlijk een goede didactische opbouw? Wat is een goede docent? Hoe motiveer je leerlingen? Wat heeft didactisch onderzoek eigenlijk opgeleverd? En kun je nu ook spreken van didactische vooruitgang?

Is dat nu ook allemaal besproken, kunt u zich afvragen, en, nog belangrijker, zijn er ook antwoorden geformuleerd? Jazeker, volgens mij, maar misschien niet altijd even duidelijk en even bevredigend, neem ik aan. Vaak bleken die antwoorden ook niet eenduidig te geven. Het gaat niet om ja of nee, of om zo is het, maar veeleer om genuanceerde afwegingen van voor- en nadelen. Immers, zoals we gezien hebben, onderwijsvormgeving is nu eenmaal fundamenteel visiegebonden en dus ook sterk maatschappelijk bepaald.

Mijn verhaal beslaat een periode van meer dan veertig jaar. Een tijdspanne waarin zeer veel didactisch werk is verzet, en er veel zaken zijn afgekomen op het natuurkundeonderwijs. Aan de ene kant alle ontwikkelingen op curriculumgebied en aan de andere kant ontwikkelingen in de onderwijskunde en het vakdidactisch onderzoek. Ik heb geprobeerd van beide een enigszins representatief beeld te schetsen, ondanks het feit dat ik ook veel niet heb besproken. In mijn selectie van besproken literatuur, heb ik, gegeven de enorme beschikbare hoeveelheid, vooral mijn persoonlijke voorkeur gevolgd, met name gericht op die auteurs waarvan ik vond dat ze ook echt iets te zeggen hadden. Daarnaast heb ik geprobeerd de beschreven ontwikkelingen zo goed mogelijk te duiden en van enig relativerend commentaar te voorzien.

Normaal gesproken zou het onderzoek de curriculumontwikkelingen hebben moeten beïnvloeden en versterken. Helaas is dat weinig het geval geweest, wat de vraag oproept hoe dat komt. Immers, als dat onderzoek waardevolle inzichten heeft opgeleverd, waarom wordt er dan toch zo weinig mee gedaan? Zoals ik beargumenteerd heb zijn het vooral maatschappelijke en technologische ontwikkelingen die curriculumvernieuwingen bepalen. Het natuurkundeonderwijs moet zich, zowel qua inhoud als didactiek, steeds aanpassen aan de algemene onderwijspolitieke ‘geest van de tijd’. Zo moest, indirect, natuurkundeonderwijs (in de USA) bijdragen aan het winnen van de ruimterace en de koude oorlog, bijdragen aan meer sociale gelijkheid en emancipatie, en nu bijdragen aan betere talentontwikkeling en economische groei. Om deze rollen te kunnen vervullen moet het zich ook vakinhoudelijk steeds vernieuwen en aanpassen. Sociaalwetenschappelijke kennis speelt hierin maar een zeer beperkte rol, in de

Omzien in verwarring

vorm van nieuwe 'pedagogische en onderwijskundige inzichten', die gebruikt worden om onderwijspolitieke standpunten te onderbouwen. Dat weerspiegelt ook de aard van deze wetenschappen, hun theorieën zijn vooral tijdsgebonden, onderbouwde opvattingen, die zelden eenduidig volgen uit onweerspreekbare harde empirische feiten.

Zo ook met natuurkundedidactiek als wetenschappelijke activiteit. In zijn aard is het voornamelijk een sociaalpsychologische wetenschap, want het gaat om het handelen en de intenties van mensen. Maar het object van dit handelen, de natuurkunde, is van een andere wetenschappelijke aard en dat geeft een duaal karakter aan de didactiek. In haar relatie tot de natuurkunde als discipline is natuurkundedidactiek reflectief van aard (net als de geschiedenis en de filosofie van de natuurkunde). Ze onderzoekt de natuurkunde op haar leer- en onderwijsbaarheid. Enerzijds, door de natuurkundige vakinhoud te analyseren en te bereflecteren ten aanzien van de didactische consequenties van haar conceptuele en procedurele kenmerken. Anderzijds, door het onderwijzen en leren van natuurkunde empirisch te onderzoeken, zowel in gangbaar onderwijs als in, daartoe speciaal ontworpen, experimentele omstandigheden.

Dat maakte wetenschappelijke didactiekbeoefening voor mij moeilijk. Het vroeg om een wisseling van wetenschappelijk perspectief. Daar heb ik zeer aan moeten wennen en het zou best kunnen dat veel van de scepsis die docenten (om van fysici maar niet te spreken) soms ten toon spreiden ten aanzien van didactisch onderzoek juist ook te maken heeft met het feit dat hun wetenschappelijk referentiekader nog vooral natuurkundig is. Vanuit onze vakopleiding zijn we immers gewend aan 'harde' feiten en theorievorming. De klassieke mechanica 'werkt', een atoom kun je 'manipuleren', etc. En ook al zijn daar grenzen aan, natuurkunde maakt voortgang! Maar in de natuurkundedidactiek ligt dat fundamenteel anders. Didactische theorieën en daarop gebaseerde verbeteringen, werken immers vaak alleen goed in het hoofd van de bedenker! In de praktijk valt dat meestal tegen! Hierin onderscheidt de vakdidactiek zich overigens niet principieel van ander onderwijskundig of onderwijspsychologisch onderzoek.

Zo hebben we in het voorgaande verschillende theoretische benaderingen voorbij zien komen, ieder met zijn eigen didactische invloeden. Het behaviorisme, het Piagetisme, het (meta)cognitivisme, het constructivisme en (in analogie) het cultuurhistorisme. Iedere benadering geeft, vanuit een andere invalshoek, weer een eigen interpretatie en reductie van de pedagogische en didactische werkelijkheid. Waardevolle 'oude' elementen worden of vergeten of geherinterpreteerd en nieuwe toegevoegd. Dat resulteert weliswaar in voortdurende ontwikkeling, maar de voortgang is veel minder duidelijk. Daarnaast is er de referentie aan de natuurkunde zelf. Daartoe beroept de didactiek zich, behalve op de eigen ervaring van docenten, didactici en fysici, ook op wetenschapshistorische en filosofische achtergronden. En ook die hebben we zien veranderen. Van het empirisch-inductieve standaardbeeld tot een hypothetisch-deductief kritisch rationalisme, van het idee van lineair cumulatieve groei naar een opeenvolging van normale en revolutionaire natuurkunde, van de individuele (geniale) geleerde naar 'communities' van professionals die 'tools' ontwikkelen om hun (deel van de) wereld te mediëren.

Zo moeten we in de didactiek, naast een wetenschappelijke visie op onderwijzen en

leren, ook een visie ontwikkelen op de individuele en maatschappelijke waarde van natuurkunde als ‘kennisbestand omtrent de natuur’, als ‘aspectmatige wijze van kijken naar de natuur’ en als ‘natuurwetenschappelijke activiteit’, om uiteindelijk te kunnen komen tot een geïntegreerde visie op natuurkundeonderwijs. Geen wonder dat die visie voortdurend aan verandering onderhevig is. En wat betekent dat dan voor natuurkunde-didactische theorievorming?

“It might be worthwhile, in this respect, to say a few words about the nature of a didactical theory, as this differs essentially from the nature of scientific theories that we, as natural scientists, are used to. It should be noted that the predictions a didactical theory and structure make, are to be understood like the teleological (or: reason-) explanations we give of human thought and action. The latter render someone’s behaviour intelligible to us, because they describe his behaviour as being governed by the basic standards of rationality he shares with us. They are, because of their appeal to rationality, description and explanation (rationalization) in one. (...) A didactical theory does not predict or explain by recourse to a system of strict laws, but by an appeal to rationality. The aim of improving a didactical theory thus cannot be to eventually arrive at ‘the ultimate’ didactical theory. There is also no need for such an ultimate didactical theory, however. What matters is whether a didactical theory is ‘good enough’, whether it serves as a valuable guideline for understanding and guiding what goes on in actual classes. In each of these classes, however, the teaching/ learning process will without doubt meander in a somewhat different way around the main path predicted by the didactical theory.

This nature of didactical theories has important consequences with respect to the question whether the described way of working might result in didactical progress, both as far as didactical theory construction as well as didactical practice is concerned. As didactical theories are rooted in underlying educational views, in my view, such progress should be possible, as long as we stay within a particular view on science education. Then, design research makes it possible to improve didactical practice, enabling didactical change in a particular direction. However, because of the nature of didactical theories, what may count as progress within a certain perspective may not be considered as such from another. Even comparisons between well-operationalised didactical systems and theories are hard to make, and are seldom convincing the not-already-convinced. Nevertheless, the more we know about detailed teaching/ learning processes, the better we may be able to discuss the advantages and disadvantages of specific theories and approaches, which could improve the rationality of our decisions.”⁴⁶⁶

Onze eigen pogingen om didactische ontwerpen, door middel van gedetailleerde, falsificeerbare scenario’s als explicitering van onderbouwde verwachtingen, zo precies mogelijk empirisch te toetsen, stuiten op het probleem van theoretische kleinschaligheid en moeizame generaliseerbaarheid. De andere kant van de medaille, didactisch onderzoek richten op het toetsen van de bruikbaarheid van algemenere ontwerpprincipes, stuit op het probleem dat deze principes, als zodanig niet falsificeerbaar zijn en bovendien alleen globaal richtinggevend voor onderwijsvormgeving. Dus blijken ze altijd bruikbaar en voegt onderzoek daaraan eigenlijk weinig tot niets toe! Het komt immers altijd aan op hun didactische uitwerking. Overigens blijkt in de didactische

⁴⁶⁶ P.L. Lijnse (2010). Methodological aspects of design research in physics education. In: K. Kortland & K. Klaassen (Eds.), *Designing Theory-Based Teaching-Learning Sequences for Science Education* (pp. 143-156). Utrecht: FIsme. De hier weergegeven opvatting is overigens voor een belangrijk deel ontleend aan het werk van Klaassen²⁰⁶.

Omzien in verwarring

onderzoekspraktijk het gros van de gepubliceerde onderzoeken ‘one-shot studies’ te zijn, die eigenlijk alleen anekdotische waarde hebben. Dat wil zeggen, er wordt een probleem onderzocht in een lokale uitwerking, en niemand doet verder nog iets met die resultaten, of bouwt er op voort. Het wetenschappelijk interessante van de diagnostische fase in het onderzoek naar misconcepties was nu juist dat er toen wel kennisgroei leek te zijn, maar in de periode van didactische remediëring is die weer grotendeels verdwenen. Om een voorbeeld te geven, in de jaren tachtig en negentig van de vorige eeuw is, internationaal gezien, onafhankelijk van elkaar en steeds in een lokale setting, een aantal proefschriften verschenen over de introductie van deeltjesmodellen. Helaas, niemand heeft daarna ooit geprobeerd om de resultaten van deze onderzoeken bij elkaar te brengen tot een empirisch onderbouwde theorie. Dit illustreert dat iedere didacticus die zichzelf respecteert, vooral bezig is met het bouwen van zijn eigen theorieën en het daarbij meestal ook laat. Ook ik heb me daaraan bezondigd! En dus is het grotendeels begrijpelijk dat de meeste docenten vinden dat zij zich van deze ‘wetenschap’ weinig hoeven aan te trekken, en hun eigen praktijktheorieën ontwikkelen. Dit (of dat) werkt goed bij mij en mijn leerlingen en wel omdat ik dat vind!

De kern van de didactische discussie van de laatste decennia is eigenlijk samen te vatten in de vraag: overdracht of ontwikkeling? Met alle bijbehorende polariteiten ten aanzien van de rollen van docent en leerling. Een verwante manier waarop deze valse dichotomie vaak wordt verwoord is als leerstofgericht versus leerlinggericht onderwijs. Ervan uitgaande dat kennis altijd geconstrueerde kennis is, gaat dit grotendeels om schijndiscussies! In goed natuurkundeonderwijs kan het een niet zonder het ander. Overdracht moet gericht zijn op ontwikkeling, en ontwikkeling kan niet zonder overdracht. Natuurlijk ‘werkt’ overdracht van kennis, in de zin dat je zaken aan kinderen begrijpelijk kunt uitleggen, mits je dat doet in dialoog, maar het wordt moeilijk als je het te lang achter elkaar doet, niet goed naar hen luistert en niet goed aansluit bij hun ervaringen, hen niet laat weten waarvoor het dient, in een te hoog tempo, voor een te grote groep leerlingen van te verschillend niveau. En natuurlijk ‘werkt’ ontdekkend/onderzoekend leren, in de zin dat kinderen zelf zaken over de wereld kunnen ontdekken, maar het wordt moeilijk voor hen als dat direct ‘onze’ natuurkundige zaken moeten zijn, als de tijd daarvoor te kort is, de omvang te groot en er teveel leerlingen van te verschillend niveau aan meedoen, terwijl ze eigenlijk geen idee kunnen hebben van het waarvoor, en er niet goed op voorbereid zijn.

Het gaat om het vinden van een goede balans tussen en het productief voortbouwen op elkaar van deze twee benaderingen. Zoals uit deze karakterisering moge blijken, zijn het veeleer de randvoorwaarden van het geïnstitutionaliseerde onderwijs die de feitelijke problematiek bepalen. En elke docent probeert daarin dan ook zijn eigen balans te vinden. Het lijkt daarom waarschijnlijk dat deze discussie, zij het in mogelijk andere bewoordingen, corresponderend met steeds weer nieuwe ‘theorieën’, het onderwijs nog vele jaren zal beheersen.

In dit boek heb ik van de didactische driehoek (curriculum, leerling, docent) twee hoekpunten uitvoerig beschreven, maar de belangrijkste nauwelijks. Ik doel hier op

het feit dat ik veel aandacht heb besteed aan (het vernieuwen van) het curriculum en aan (het leren van) de leerling, maar eigenlijk nauwelijks aan (het leren van) de docent. Terwijl het toch het kennen en kunnen van de docent is dat bepaalt wat er van alle goede vernieuwings- en verbeteringsvoorstellen uiteindelijk terecht komt. En daarover alleen maar informatie bieden, zoals in dit boek, is voor een succesvolle implementatie absoluut niet voldoende. Het is dan ook goed dat er al geruime tijd een trend waarneembaar is om steeds meer het focus op de docent te richten, als aangrijpingspunt voor didactisch onderzoek en onderwijsverbetering. Maar die trend beschrijven, vergt een ander boek (en een andere auteur)!

Tot slot, het verhaal ging dat de wiskundige en wiskundededidacticus Freudenthal, de naamgever van het huidige Utrechtse Freudenthal Instituut voor bètadidactiek, bij een promotie zijn oppositie eens ruwweg als volgt zou hebben ingeleid: “Waarde promovendus. Ik heb uw proefschrift met veel genoegen gelezen. Het bevat veel nieuws en veel goeds. Al is, helaas, het nieuwe meestal niet goed en het goede meestal niet nieuw...” Of dit ook ooit echt gebeurd is, is mij niet bekend, maar dat valt sterk te betwijfelen. Waarschijnlijk is dit zo’n altijd rondzingende anekdote, waar in de loop der tijd steeds weer de naam van een nieuwe grootheid op wordt geplakt. Maar de gegeven kenschetsing spreekt me desalniettemin aan.

Uit de titel van dit boek, ‘Omzien in verwarring’, moge blijken dat mijn terugblik sterk persoonlijk gekleurd is. Het scala van besproken didactische problemen en oplossingen is sterk gerelateerd aan datgene waaraan ik zelf in mijn professionele leven heb gewerkt. Mocht u daarom over de inhoud van dit boek tot eenzelfde oordeel komen als hierboven toegedicht aan Freudenthal, dan zou ik al heel tevreden zijn. In ieder geval heeft het werken eraan, naast veel frustratie, me ook veel voldoening gegeven.



Dit boek gaat over ontwikkelingen in de natuurkundedidactiek, zoals die zich ruw weg sinds de jaren zestig van de vorige eeuw in ons land hebben voltrokken. De beschrijving bestaat uit twee hoofdstromen.

De eerste hoofdstroom focuseert op curriculumontwikkeling, zoals die in de loop der jaren steeds weer heeft geprobeerd nieuwe beleidsmaatregelen te concretiseren in vernieuwing van natuurkundeonderwijs.

De tweede hoofdstroom richt zich op de invloed van natuurkunde-didactisch onderzoek, zoals dat zich in deze periode vanuit het niets een plaats heeft verworven in het spectrum van op onderwijs gericht onderzoek.

De inhoud van dit boek is sterk bepaald door de persoonlijke werkervaring van de auteur, die sinds 1973 werkzaam is geweest als natuurkundedidacticus. Na zijn studie wis- en natuurkunde aan de Universiteit Utrecht, en een cum laude promotie op een molecuul-fysisch onderwerp, trad hij in dienst bij de toenmalige Vakgroep Natuurkundedidactiek van de UU. Naast deelname aan curriculumontwikkelingsprojecten, heeft hij zich vooral ingezet voor de ontwikkeling van het zojuist genoemde natuurkunde-didactisch onderzoek.

Van 1991 tot 2001 bezette hij de door de Stichting Werkgroep Natuurkunde Didactiek (WND) aan de UU ingestelde Bijzondere Leerstoel "De ontwikkeling van natuurkundige begrippen en werkwijzen in onderwijssituaties".

Daarnaast was hij, vanaf 1997 tot aan zijn emeritaat in 2005, in deeltijd tevens gewoon hoogleraar natuurkunedidactiek aan de UU.