

hoe leren leerlingen
natuurkunde



woudschoten 32

WERKGROEP NATUURKUNDE-DIDAKTIEK

Laboratorium voor Vaste Stof
Princetonplein 1
3584 CC Utrecht
tel.: 030-531179

Bestuur:

| | |
|----------------|-------------------------|
| voorzitter | H.P.Hooymayers |
| sekretaris | P.Verhagen |
| penningmeester | H.A.Créton |
| leden | A.A.M.Agterberg |
| | J.E.Geuzebroek-Frederik |
| | J.W.Lackamp |
| | P.J.de Vries |
| | Th.Wubbels |

Inhoudsopgave

| | |
|--|-----|
| Inleiding + bezoekersaantallen door de jaren heen | 1 |
| Programma | 2 |
| <u>Deel 1: LEZINGEN</u> | 3 |
| Prof.Dr.C.F.van Parreren - Begrippen en werkwijzen in het natuurkunde onderwijs, beschouwd vanuit de psychologie. | 4 |
| Drs.P.P.M.Molenaar - Natuurkunde onderwijs en de cognitieve ontwikkeling van leerlingen | 16 |
| Ir.J.S.van den Berg - Het leren maken van natuurkunde vraagstukken | 25 |
| Drs.W.de Vos - De kleinkinderen van Aristoteles, het heen en weer denken tussen makro- en mikrowereld | 38 |
| Drs.P.G.Hogenbirk en Drs.R.F.A.Wierstra - Leren met en leren van het PLON | 49 |
| Drs.D.A.Lockhorst - Handelingen, tekeningen, taal | 69 |
| Plenaire discussie | 80 |
| <u>Deel 2: WERKGROEPEN</u> | 83 |
| 1. Leerstrategieën in natuurkunde-onderwijs: P.A.M.Kommers en I. de Bruyn | 84 |
| 2. Leertheorie en een stukje praktijk, een voorbeeld uit de mechanica: J.F.Schröder | 92 |
| 3. Leren begrijpen en helpen bij het leren: A.de Hartog e.a. (voorinformatie) | 97 |
| 4. Onderzoek naar denkbepelden van leerlingen: D.van Genderen en P.L.Lijnse | 98 |
| 5. Natuurkunde op de M.T.S.: G.Werner | 102 |
| 6. Leren met DBK: P.Licht | 106 |
| 7. Onderzoek naar probleemoplossend gedrag van leerlingen bij het vak natuurkunde in klas 3 mavo: A.Miedema (voorinformatie) | 115 |
| 8. Meisjes en natuurkunde. Open discussie over: hoe bevorderen we dat meisjes natuurkunde leren?: C.Drukker | 116 |
| 9. Meisjes en natuurkunde. TV-banden, gemaakt in het MENT-project, tonen aspecten van hoe meisjes natuurkunde leren: M.Lensink | 119 |

| | pag. |
|---|------|
| 10. Het leren aanpakken van problemen, een struikelblok in natuurwetenschappelijk onderwijs: A.Pilot | 123 |
| 11. Waarom geeft een vrije school leerkracht mechanica in de gymzaal?: W.Daub (voorinformatie) | 133 |
| 12. De ontwikkeling van het produktieve denken: J.Haenen | 134 |
| 13. Het VWO-bovenbouwproject: T.Ellermeyer | 143 |
| 14. Leren in context in de PLON-cursus voor havo-bovenbouw: H.Eijkelhof | 145 |
| 15. Meer dan jezelf zijn in de klas: B.Pelupessy (voorinformatie) | 148 |
| 16. Natuurkunde met leerlingen: A.de Jager e.a. | 149 |
| 17. Didactisch programmeren: F.Havekes en F.E. van 't Hul | 155 |
| 18. Natuurkunde leren via het oplossen van zinvolle problemen: J.M.Beltman (voorinformatie) | 158 |
| 19. Leerstofproblemen opsporen met behulp van Piaget: P.L.Lijnse, D.van Genderen (voorinformatie) | 159 |
| 20. Het oplossen van natuurkundevraagstukken met behulp van een heuristiek: ervaringen van leerlingen: J.Lommen | 160 |

Deel 3: MARKT EN EVALUATIE 163

| | |
|---------------------------|-----|
| - algemene indruk | 164 |
| - de lezingen | 166 |
| - de werkgroepen | 167 |
| - de markt | 168 |
| - wensen voor de toekomst | 168 |

| | |
|------------------------------------|-----|
| Deelnemerslijst 'Woudschoten' 1982 | 170 |
|------------------------------------|-----|

Inleiding

U heeft ongetwijfeld al weken zitten wachten op het verslag van de 17e 'Woudschoten'konferentie, welnu bij deze dan.

Voor deze konferentie hadden wij, in tegenstelling tot vorig jaar waarbij de mechanika centraal stond; weer gekozen voor een wat algemener onderwerp.

Wij zijn blij dat het onderwerp 'Hoe leren leerlingen natuurkunde' een grote groep kollega's aangesproken heeft.

Op de volgende pagina vindt U het reilen en zeilen van de 'Woudschoten'konferentie in beeld gebracht. Van een bescheiden start met 90 deelnemers in 1966 zijn we uitgegroeid tot een jaarlijkse bijeenkomst waar zo'n 25% van de natuurkundeleraren in Nederland aanwezig is. Het trekken van konklusies uit een dergelijke grafiek is uiteraard een hachelijke onderneming. Je zou eruit kunnen opmaken dat de konferentie in een toenemende mate in een behoefte voorziet. Het ziet er ook naar uit dat een reeks van algemene onderwerpen na elkaar leidt tot afname van het aantal deelnemers. Uit de evaluatie blijkt dat de waardering voor de konferentie nogal wisselend is. De reacties lopen uiteen van 'veel nieuwe en bruikbare dingen geleerd' tot 'eigenlijk wist ik alles al'.

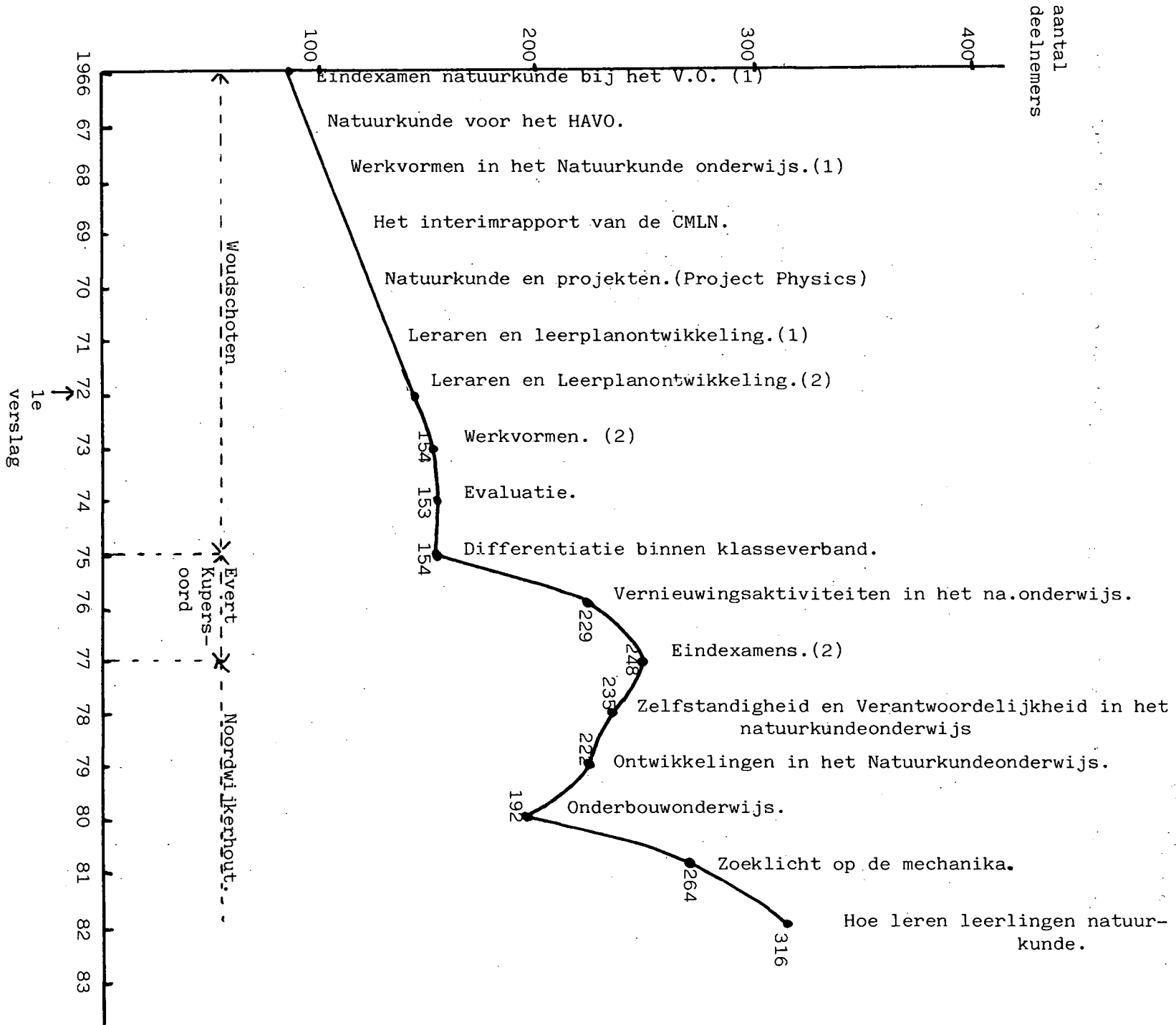
Woudschoten als 'sociaal gebeuren' blijkt iedere keer hoog in het vaandel te staan. Wij zijn ons ervan bewust dat het programma daarvoor dit jaar te weinig gelegenheid bood. En zo hebben ook wij van het organiseren van deze konferentie weer wat geleerd.

Het verslag omvat de teksten van de lezingen, de verslagen van de werkgroepen, een stukje over de markt en de evaluatie. Deze laatste is ook dit jaar weer geschreven op grond van korte gesprekjes die tijdens de konferentie door een aantal deelnemers gehouden zijn.

Graag wil ik iedereen bedanken die meegewerkt heeft aan het slagen van deze 'Woudschoten'konferentie: de inleiders, de medewerkers van de werkgroepen, de mensen die de markt verzorgden en de studenten die de evaluatie voor hun rekening genomen hebben. In het bijzonder bedank ik Thea Strötbaum en Jenny Andriese voor het vele werk wat zij gedaan hebben.

Het bestuur is inmiddels weer druk bezig met het bedenken van een onderwerp voor de komende 'Woudschoten'konferentie. Zoals ieder jaar denken wij ook nu weer 'waar moet het toch over gaan?' Maar het zal ons hopelijk lukken U ook dit jaar weer een aantrekkelijke konferentie aan te bieden.

Paul Verhagen



Bezoekersaantallen en titels van de Woudschoten- en Noordwijkerhout-konferenties door de jaren heen.

le
↓
verslag

Programma

vrijdag, 10 december 1982

- 13.45 - 14.40 uur Ontvangst
14.40 - 14.50 uur Opening door de voorzitter van de Werkgroep Natuurkunde-Didaktiek, Prof.Dr.H.P.Hooymayers.
14.50 - 15.00 uur Informatie over de conferentie door de conferentie-voorzitter, Dr.W.P.J.Lignac.
Voorheen leraar natuurkunde aan het Dalton Lyceum te Den Haag en tot zijn pensionering secretaris van de Commissie Leerplan Ontwikkeling Natuurkunde (later ACLO-N).

BINNENKOMST LAATKOMERS

- 15.00 - 16.00 uur Lezing 'Begrippen en werkwijzen in het natuurkunde-onderwijs, beschouwd vanuit de psychologie' door Prof.Dr.C.F.van Parreren. Emeritus hoogleraar Psychologische Functie-leer.
16.00 - 16.30 uur THEE
16.30 - 17.20 uur Lezing 'Natuurkunde onderwijs en cognitieve ontwikkeling van leerlingen' door Drs.P.P.M.Molenaar.
Leraar natuurkunde aan R.K.S.G. 'Fons Vitae' te Amsterdam en medewerker van de vakgroep Natuurkunde-Didaktiek, G.U.-Amsterdam.
17.20 - 17.45 uur Informatie over de subgroepen en de markt.
17.45 - 19.00 uur DINER
19.00 - 19.45 uur Lezing 'Het leren maken van natuurkunde vraagstukken' door Ir.J.S.van den Berg.
Leraar natuurkunde aan de Prof.Dr.S.Greydanusschool te Zwolle en medewerker van de vakgroep Natuurkunde-Didaktiek, T.H.-Eindhoven.
19.45 - 20.00 uur KOFFIE
20.00 - 21.00 uur Subgroepen
21.00 - 23.30 uur Markt (20.45 uur markt open)
21.30 - ? uur Bar open

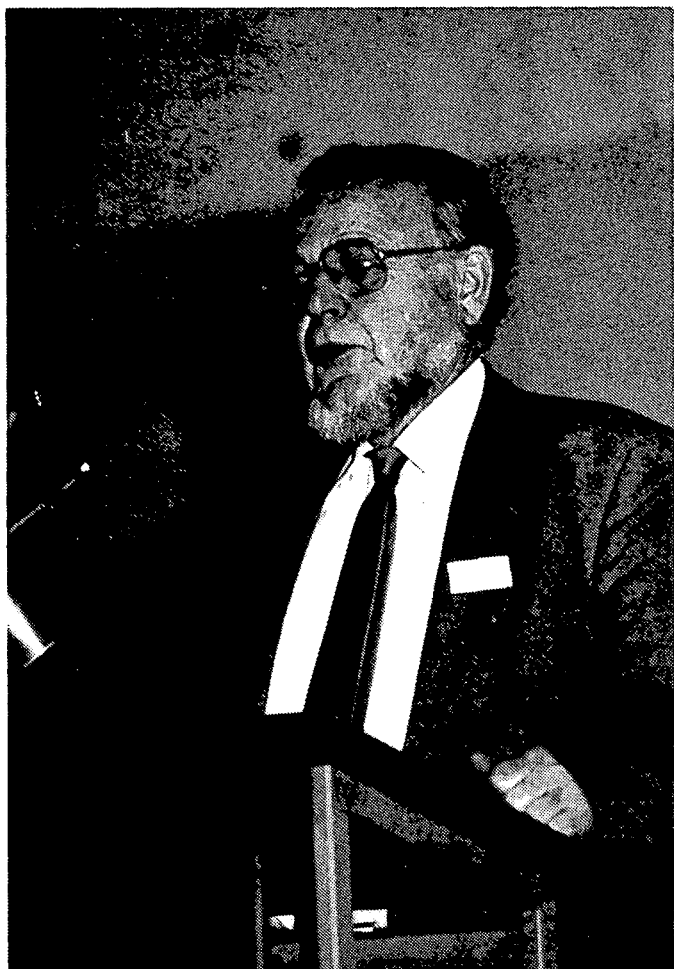


zaterdag, 11 december

- 8.00 - 9.00 uur Ontbijt
9.00 - 9.50 uur Lezing 'De kleinkinderen van Aristoteles (heen en weer denken tussen micro en macro wereld) door Drs.W.de Vos.
Medewerker van de vakgroep Chemie-Didaktiek, R.U.Utrecht.
9.50 - 10.40 uur Lezing 'Leren met en leren van het PLON' door Drs.P.G.Hogenbirk en Drs.R.F.A.Wierstra.
Medewerkers van het PLON, R.U.-Utrecht.
10.40 - 11.05 uur KOFFIE
11.05 - 12.30 uur Subgroepen
12.30 - 13.30 uur LUNCH
13.30 - 14.30 uur Lezing 'Handelingen, tekeningen, taal (practicum, wat leert een kind daarvan)' door Drs.D.A.Lockhorst.
Tot voor enkele jaren leraar natuurkunde aan het Haags Montessori-Lyceum, thans docent onderwijskunde aan de 'Witte Leli', Amsterdam.
14.30 - 15.00 uur THEE
15.00 - 15.50 uur Plenaire discussie
15.50 - 16.00 uur Sluiting

16.15 uur: Vertrek van de bus naar het station Leiden

deel 1:
lezingen



*Begrippen en werkwijzen in het natuurkunde onderwijs,
beschouwd vanuit de psychologie*

C.F. van Parreren



1. Het inhoudelijke en het strategische aspect

Bij de studie van onderwijsleerprocessen kan onderscheid gemaakt worden tussen twee aspecten: het inhoudelijke en het strategische aspect. Bij sommige vraagstellingen ligt de nadruk meer op het inhoudelijke, bij andere op het strategische. In de werkelijkheid van het onderwijzen en leren zijn deze aspecten natuurlijk steeds met elkaar verbonden.

Met het inhoudelijke aspect bedoel ik de leerstofinhouden, datgene wat wordt geleerd. In het natuurkunde-onderwijs hebben wij hier te maken met begrippen, begripsrelaties en de formules waarin die worden gerepresenteerd. Ook behoren hiertoe de theoretische modellen, inbegrepen de methoden waardoor die modellen op de waargenomen realiteit betrokken kunnen worden. Het natuurkundige 'vertaalprobleem', het heen-en-weer vertalen van concrete realiteit naar model en omgekeerd, kan ook tot het inhoudelijke aspect van de onderwijsleerprocessen in het natuurkunde-onderwijs worden gerekend.

Het strategische aspect betreft de activiteiten van de leerlingen, maar ook van de leraar. Het gaat bij dit aspect om het 'handelen' met de leerstofinhouden. 'Handelen' omvat in de psychologie ook het mentale handelen, het omgaan met denkobjecten. De mentale handelingen die in het natuurkunde-onderwijs geleerd moeten worden zijn in de eerste plaats handelingen aan objecten zoals natuurkundige begrippen, formules, enz. (zie boven). Maar daarnaast omvat het strategische aspect ook de voorbereiding op deze in engere zin 'natuurkundige' handelingen, zoals het organiseren van leertaken, het aanpakken van vraagstukken e.d.

2. Het leren van natuurkundige begrippen

Dit onderwerp raakt om te beginnen het inhoudelijke aspect. Het is de vraag wat de leerlingen eigenlijk voor leerresultaat moeten bereiken ten aanzien van de vele fysische begrippen en begripsrelaties waarmee ze worden geconfronteerd. Hoe de leerlingen begrippen en begripsrelaties leren is bepaald niet onverschillig, want daarvan hangt het af, of ze erin zullen slagen ermee te werken in vraagstukken, in het practicum, in het dagelijks leven en eventueel in het na het voortgezette onderwijs volgende wetenschappelijke of hogerberoeps-onderwijs.

Over begrippen en het leren van begrippen is al sedert het begin van deze eeuw veel te doen geweest in de psychologie. Het meeste daarvan is echter voor het onderwijs nauwelijks interessant. Bijdragen die dat wel zijn, zijn voornamelijk

afkomstig van twee grote ontwikkelingspsychologen en hun respectieve scholen, n.l. de Rus Vygotskij (1896-1934) en de Zwitser Piaget (1896-1980).

Vygotskij onderzocht langs experimentele weg het classificeren (indelen) van blokjes van verschillende vorm, grootte en kleur, door kinderen van 3 tot 13 jaar. Hij wilde daarmee nagaan hoe zich de spontane ontwikkeling van klassebegrippen bij kinderen voltrok. (Met 'spontaan' wordt hier bedoeld: de ontwikkeling, zoals die verloopt als er geen rechtstreeks onderwijs over klassebegrippen wordt gegeven.) Vygotskij liet zien, dat er in dit geval een reeks stadia wordt doorlopen. Alleen de oudste leeftijdsgroep bleek in staat te zijn 'echte' klassebegrippen te vormen. Een wat jongere groep kinderen leverde bij zijn experiment nagenoeg dezelfde prestaties, maar toch constateerde Vygotskij dat door deze kinderen slechts 'pseudobegrippen' waren gevormd. Met behulp van die pseudobegrippen werden de blokken in het experiment weliswaar op dezelfde manier ingedeeld, maar dit deden de kinderen door af te gaan op de uiterlijke gedaante van de blokken. Ze waren in dit stadium nog niet in staat de klasse-indeling te maken op grond van het voldoen of niet-voldoen van een blok aan bepaalde (abstracte) kenmerken zoals hoogte of grondoppervlak.

In een ander onderzoek richtte Vygotskij zich speciaal op het leren van wetenschappelijke begrippen. In tegenstelling tot de 'kunstmatige' begrippen uit het vorige experiment hield hij zich in dit tweede onderzoek bezig met begrippen zoals ze op school worden onderwezen. Hij legde er de nadruk op, dat wetenschappelijke begrippen alleen door onderwijs worden verworven, ook al is er ook in dit geval van een zekere mate van spontane ontwikkeling van de begrippen sprake. Maar - en dit is een centraal idee van Vygotskij - met het oog op het wetenschappelijk leren denken moet het onderwijs op de ontwikkeling van het kind vooruitlopen. Wachten met het onderwijzen van wetenschappelijke begrippen tot het kind uit zich zelf het daarmee corresponderende stadium bereikt, heeft geen zin, zo meent Vygotskij. Alleen door onderwijs kunnen wij het kind tot het stadium in zijn ontwikkeling brengen waarop het leert denken met behulp van wetenschappelijke begrippen. In het algemeen is het een taak van het onderwijs het kind in zijn cognitieve ontwikkeling vooruit te helpen.

Vygotskij's leeftijdsgenoot Piaget zag dit heel anders. Hij is, zoals bekend, de auctor intellectualis van de opeenvolgende stadia in de cognitieve ontwikkeling van het kind, die tegenwoordig algemene bekendheid genieten. De twee stadia die in verband met het natuurkunde-onderwijs het belangrijkste zijn, zijn het stadium van de concrete operaties, en het stadium van de formele operaties. In het stadium van de concrete operaties, dat duurt van ongeveer 7 tot ongeveer 13 jaar, is het kind in staat objecten in klassen in te delen, de relaties tussen

verschillende klassen te begrijpen (b.v. de 'inclusierelatie' tussen een klasse en zijn subklassen), het kind krijgt inzicht in de omkeerbaarheid van denkoperaties, enz. Maar al deze denkactiviteiten kan het alleen vatten zolang ze op reëel aanwezige objecten betrekking hebben. Pas in het volgende stadium, het stadium van de formele operaties, kan het kind volgens Piaget opereren met denkbeeldige, 'hypothetische' objecten. Het zou pas dan ten volle in staat zijn abstract te denken.

Bij dit alles moet worden bedacht, dat Piaget weinig waarde hechtte aan een beïnvloeding van het verloop van de ontwikkeling van het kind door onderwijs. Hoogstens zou er enige versnelling in het doorlopen van de stadia mee zijn te bereiken, maar daar staat tegenover, zo meende hij, dat het risico dat wij kinderen uitwendige, mechanisch gehanteerde schema's aanleren, bij zo'n onderwijsdoelstelling groot is. Piagets onderwijsfilosofie is er een van zelf-ontdekken door de leerling.

Nu echter gebleken is, dat het zelf-ontdekken in het onderwijs weliswaar een waardevolle procedure is, maar dat het een methode met grote beperkingen is, met name waar het om het bereiken van 'gelijkheid van kansen' gaat (de kansarmen ontdekken eenvoudig niet wat er ontdekt zou moeten worden), ligt het voor de hand om met het oog op het onderwijs vooral bij Vygotskij en zijn school te rade te gaan. Dat neemt niet weg, dat bij Piaget veel waardevols is te vinden wat de descriptie van het denken van het kind in de verschillende stadia betreft.

Vygotskij heeft echter op het punt hoe het kind van het ene in het andere stadium komt, baanbrekend werk gedaan. Voor de natuurkunde-didactiek is de Vygotskij-school in het bijzonder interessant, omdat de huidige vertegenwoordigers van die school (waarvan V.V. Davydov uit Moskou thans de leidende figuur is) juist het verwerven van wetenschappelijke, met name theoretische begrippen tot het middelpunt van hun werk gemaakt hebben.

Bij Davydov vinden wij zowel een analyse van de structuur van theoretische begrippen alsook een onderwijsprocedure voor het aanleren van zulke begrippen in de wiskunde.

Wat de structuur van theoretische begrippen betreft: in dit opzicht was hetgeen hij beweert al eerder en scherper omlind door de Duitse filosoof Ernst Cassirer (1874-1945) naar voren gebracht. Beiden wijzen erop, dat theoretische begrippen niet door het adstraheren van gemeenschappelijke kenmerken uit een verzameling objecten worden gevormd, zoals de traditionele opvatting wilde. Theoretische begrippen zijn niet bundels van statische kenmerken die een aantal objecten gemeen hebben, maar het zijn systemen van relaties tussen variabelen. Uit een dergelijk systeem, zoals b.v. de algemene vergelijking van de tweede graad er een is,

of op het terrein van de natuurkunde: de kinetische gastheorie, laten zich meer speciale gevallen als gevolgen afleiden (b.v. de vergelijking van de parabool resp. de gevolgen van de verandering van het volume van een gas). Door een dergelijk theoretisch begripssysteem 'op de realiteit te leggen' kunnen gebeurtenissen in de realiteit verklaard worden en kan men nog niet geobserveerde verschijnselen voorspellen.

Hoe kunnen wij dit soort begrippen nu onderwijzen? Davydov - en hierin schuilt zijn bijzondere verdienste - laat zien, dat dit kan gebeuren door de leerlingen op bepaalde wijzen uitvoerig te laten handelen met concreet materiaal. Zo bouwt hij bij de leerlingen een wiskundig verantwoord getalbegrip op door ze hoeveelheden concrete objecten te laten vergelijken en door vervolgens allerlei grootheden elk op hun eigen wijze te laten meten en daarbij ook met verschillende maateenheden te laten werken.

Met natuurkunde-onderwijs heeft Davydov zich jammer genoeg tot nu toe niet beziggehouden. Maar toch kunnen zij zijn werkwijze waarschijnlijk ook voor natuurkundige begrippen bruikbaar maken. Men zou enkele grootheden door meting, aan reële objecten, kunnen introduceren, b.v. volume en gewicht. Door vervolgens relaties te laten opsporen tussen meetresultaten, wordt de basis gelegd voor een begrip als soortelijk gewicht. In eerste instantie is het daarbij aan te bevelen die relaties nog niet in exacte, kwantitatieve vorm te brengen. De constatering, dat een kleine spijker méér weegt dan een groot potlood kan helpen om het verschil in soortelijk gewicht te ontdekken zonder dat er nog een formule aan te pas komt. Pas bij de volgende stap wordt dan de formule ingevoerd, als het zeker is dat de leerlingen de relaties tussen volume, gewicht en soortelijk gewicht in kwalitatieve zin hebben begrepen. Op die manier is het risico dat de formules los raken van de probleemsituaties in de realiteit het kleinst. Het 'vertaalprobleem' wordt geminimaliseerd.

Zoals opgemerkt heeft Davydov geen natuurkunde-onderwijs ontworpen, maar ligt zijn voornaamste werk op het gebied van het aanvankelijk wiskunde-onderwijs. Mag men echter wel een parallel trekken tussen wiskunde- en natuurkunde-onderwijs? M.i. liggen hier wel degelijk verschillen. Belangrijk is, dat in de wiskunde het oorspronkelijk aan de hand van de empirie opgestelde begrippenapparaat zich meer en meer emancipeert van de empirische realiteit. In de natuurkunde wordt ook bij de abstractste theorie en de band met de realiteit nooit helemaal losgelaten, al was het alleen al omdat men aanspraak blijft maken op gelding voor die realiteit. Anderzijds is in natuurkundige begrippen en modellen een duidelijk element van 'alsof' aanwezig: het zijn door de mens geconstrueerde systemen. Het natuurkunde-onderwijs kan daarom een goed uitgangspunt leveren voor het duidelijk maken van

de betrekkelijkheid van theoretische constructies. Dit gebeurt als men de leerling laat zien, dat datgene wat de natuurkundige doet niet is te maken van een 'natuurgetrouwe' afbeelding van de realiteit, maar alleen het ontwerpen van een model, dat alleen met het oog op bepaalde doeleinden zinvol is. Dit soort natuurkunde-onderwijs zal de leerlingen ook behoeden voor het idee, dat 'alles' eenvoudigweg uit deeltjes bestaat. De modellen, die biologie, psychologie en sociale wetenschappen ontwerpen, hebben in principe even veel recht van bestaan als de fysische. Een primaat ten aanzien van de realiteitswaarde heeft de natuurkunde evenmin als enige andere wetenschap. In het licht van de problemen die ons bezighouden dienen wij de wetenschappelijke modellen te kiezen die ons bij de oplossing behulpzaam kunnen zijn.

3. Het leren maken van vraagstukken

Dit is een onderwerp, waarbij vooral het strategische aspect van het onderwijzen van de natuurkunde aan de orde komt. Het gaat erom, de leerlingen op verschillende wijzen te leren handelen met dezelfde natuurkundige denkobjecten. Ook als een stuk theorie goed begrepen is en voldoende beheerst wordt, hebben zoals bekend vele leerlingen toch moeilijkheden met het goed aanpakken van vraagstukken, waarop de theorie kan worden toegepast. Het ontbreekt hun aan mogelijkheden de vereiste handelingen te ontdekken. De handelingen, die bij het maken van een vraagstuk moeten worden uitgevoerd, zijn andere dan die welke bij het begrijpen en bestuderen van de theorie aan de orde waren - ook al gaat het in beide gevallen om handelingen met dezelfde begrippen. Hetzelfde geldt trouwens voor het omgaan met theoretische begrippen in de situatie van een practicum-experiment.

Wat is nu de bijdrage van de psychologie tot dit probleem? In dit bestek kan hierover maar weinig gezegd worden. Belangrijk is in elk geval de onderscheiding in handelingen naar hun functie. De handelingen, die in een bepaald geval rechtstreeks naar het gestelde doel voeren, hebben een uitvoerende functie. Deze handelingen kunnen echter worden voorbereid door handelingen met een oriënterende functie. Tenslotte zijn er handelingen waarvan de functie neerkomt op controle en evaluatie van de uitgevoerde handeling.

Bij het maken van een vraagstuk kunnen oriënterende handeling b.v. bestaan in een analyse van de gegevens en van het gevraagde. In de tweede plaats kan men zich tijdens de oriëntering richten op het in ogenschouw nemen van de handelmogelijkheden waarover men beschikt, voor zover ze in het gegeven geval van de gegevens naar het gevraagde lijken te kunnen leiden. In de derde plaats wordt de oriëntering in het optimale geval afgesloten met het maken van een oplossingsplan: wat gaat men achtereenvolgens doen, c.q. proberen?

Tijdens het oplossen van een vraagstuk moeten uiteindelijk de 'explicatieve' relaties gevonden worden, die de gegevens met het gevraagde verbinden. Bij een vraagstuk waarover de leerlingen geen routine-oplossing kennen, kunnen de relaties soms gevonden worden door op goed geluk van alles en nog wat te proberen ('trial and error'). Beter is het echter bij het proberen van 'vuistregels' gebruik te maken, de z.g. heuristieken. Heuristieken of heuristische regels hebben in het algemeen deze vorm: 'Als de situatie de kenmerken a, b, enz. vertoont, of lijkt te vertonen, probeer dan een handeling van het type p, q, enz.'

Door proberend te handelen op basis van heuristieken wordt de kans vergroot, dat de explicatieve relaties worden gevonden.

Onderwijs in het maken van vraagstukken betekent dus o.a., dat wij de leerlingen relevante heuristieken verschaffen. Daartoe moet de leraar zulke heuristieken zelf kennen. Die opmerking is niet overbodig. Ook al zullen de meeste leraren de op school aan de orde komende vraagstukken vlot kunnen oplossen, dit betekent niet, dat ze de manier waarop zij de oplossing vinden bewust doorzien. Vele mensen die expert zijn op een bepaald gebied, kennen hun eigen heuristische werkwijzen niet of niet voldoende. Voor de praktijk is dit lang niet altijd schadelijk; dat wordt het echter wel zodra de expertise moet worden overgedragen. Voor het strategische aspect van het onderwijs is kennis van de (eigen) heuristieken een onmisbare voorwaarde. Anders komt men niet verder dan het demonstreren van de uitvoeringshandelingen voor het oplossen van een vraagstuk. En aan dat soort demonstratie hebben de meeste leerlingen voor het maken van nieuwe vraagstukken erg weinig.

Uit welke bronnen kunnen natuurkundeleraren putten om over een voor de vraagstukken op hun vakgebied bruikbare verzameling heuristieken de beschikking te krijgen? In de eerste plaats moet hier gedacht worden aan het expliciteren van de eigen oplossingswegen, het zich zelf 'betrappen' op de herkomst van bepaalde oplossingsideeën. Daarnaast biedt tegenwoordig ook de onderwijskundige literatuur het een en ander. In Nederland is aan de T.H.-Twente voor het oplossen van thermodynamica-vraagstukken (en nu ook voor verschillende andere gebieden van de natuurkunde) een voor studenten waardevol gebleken heuristische oplossings-schema ontwikkeld. Tenslotte: de leerlingen moeten gaandeweg ook hun eigen heuristieken gaan ontwikkelen, iets waarbij de leraar behulpzaam kan zijn. Dit kan hij door aan heuristieken in zijn onderwijs een duidelijke plaats toe te kennen en de leerlingen vertrouwd te maken met de aard van heuristieken en hun rol in het oplossingsproces. Een discussie in de klas over de heuristieken die verschillende leerlingen bij een bepaald vraagstuk hebben gevolgd kan voorts ook zeer zinvol zijn!

Een belangrijk probleem met betrekking tot heuristieken in het natuurkunde-onderwijs is de optimale mate van specificatie. Zijn heuristieken specifiek geformuleerd, dan zullen ze, als ze de oplosser eenmaal op het juiste moment te binnen schieten, meer effectief zijn dan globale, meer algemeen geformuleerde en daardoor ook meer onbepaalde heuristieken. Naar de crux schuilt hier in de conditie 'als ze de oplosser op het juiste moment te binnen schieten'. Immers, wie over specifieke heuristieken wil beschikken voor de vele soorten probleemsituaties, zal er veel moeten kennen; en dat maakt het moeilijker de relevante heuristiek op het juiste moment terug te vinden. Bovendien vereist de kennis van véél heuristieken een grote onderwijsbelasting van de leraar en een grote leerinspanning van de leerlingen.

Een gedifferentieerd stelsel van heuristieken is iets, wat men hoogstens zelf gaandeweg opbouwt voor taken waarmee men, b.v. beroepshalve, veel te maken heeft, en waarvoor geen routine- of algoritmische oplossingsprocedures bekend zijn (vgl. het uiterst gedifferentieerde stelsel van heuristieken van de professionele schaakgrootmeester). Voor het natuurkunde-onderwijs is een beperkter, maar algemener geformuleerd stelsel van heuristieken meer aan te bevelen. Er is echter ook naar de kant van de algemeenheid een grens, omdat te globaal geformuleerde heuristieken veelal niet to the point zijn, en zelden effectieve hulp bieden. Ze zijn als het ware te grofmazig. 'Daar schiet ik weinig mee op, ik zie niet wat dat er mee te maken heeft,' of: 'ik zie niet hoe ik dat hier zou moeten doen' zijn veelal de reacties van leerlingen die wij zo'n globale heuristiek als hulp bij het oplossen aanbieden.

4. Sturen of banen ?

Een veel gestelde vraag, ook ten aanzien van het natuurkunde-onderwijs, is of de leraar het leerproces bij de leerlingen nauwkeurig moet sturen, zodat die leerlingen precies wordt geïnformeerd hoe hij de diverse taken waarvoor het onderwijs hem stelt moet aanpakken. Velen menen, dat dit geen goede onderwijsmethode is; in plaats van 'sturen' geven zij de voorkeur aan 'banend onderwijs', onderwijs, waarin de leraar slechts een brede baan uitzet voor de leerling, waarbinnen deze zelf zijn weg moet ontdekken.

Over deze tegenstelling zijn veel meningen in omloop, die de toets der wetenschappelijke kritiek niet kunnen doorstaan. Zo is het b.v. niet waar, dat langs de weg van het sturen alleen 'drill'-resultaten zouden zijn te verkrijgen en dat de leerlingen op die manier geen 'echte' natuurkundige begrippen zouden kunnen verwerven. Het werk van de Rus Galperin, die een groot voorstander van de sturende onderwijsmethode is, heeft voldoende bewezen, dat ook op deze manier

voortreffelijke resultaten zijn te verkrijgen, die aan inzichtelijkheid niets te wensen overlaten.

Niettemin heeft sturend onderwijs ook zijn beperkingen. In de praktijk is de belangrijkste vraag, in welke gevallen sturen en in welke gevallen een banende benadering meer in aanmerking komt. Ook de geaardheid van de leerling speelt hierin een rol. In de onderwijskundige literatuur is tegenwoordig heel wat informatie over deze kwestie te vinden.

5. Het verband met de leefwereld

Veelvuldig is er de laatste jaren gepleit voor het relateren van het natuurkunde-onderwijs aan de leefwereld van de leerlingen. Ongetwijfeld schuilt er in deze stelling een ware kern. Zowel motivationeel als met het oog op het praktische functioneren van het natuurkundige denken in de praktijk is zo'n relatering gewenst. Maar daarnaast moet niet vergeten worden, dat het er in het natuurkunde-onderwijs om gaat, dat de leerlingen een theoretisch instrumentarium verwerven, dat per definitie afwijkt van de gewone, natuurlijke leefwereld. De leefwereld moet dus in het natuurkunde-onderwijs ook weer worden verlaten. Bovendien: het blijkt telkens weer, dat leerlingen theorieën - mits goed onderwezen - boeiender vinden dan eindeloos gepraat over objecten van de leefwereld, waarop ze langzamerhand uitgekeken raken.

6. Enkele literatuuropgaven

Het meeste van wat in het bovenstaande aan de orde is geweest, heb ik in andere publicaties veel grondiger behandeld. Een introductie in de Russische leer-, ontwikkelings- en onderwijspsychologie geeft:

C.F.van Parreren & J.A.M.Carpay - Sovjetpsychologen over onderwijs en cognitieve ontwikkeling.

De Davydov-programma's voor aanvangswiskunde staan in:

C.F.van Parreren & J.M.C.Nelissen (red.), Rekenen. Teksten en analyses
Sovjetpsychologie 2.

Deel 1 van de reeks 'Teksten en analyses Sovjetpsychologie' heet 'Denken' (onder red. van C.F.van Parreren & W.A.van Loon-Vervoorn) en bevat samenvattingen en vertalingen van Russische publikaties op het gebied van de denkpsychologie. Vooral par. 3.5 is met het oog op het natuurkundeonderwijs erg interessant, omdat het diverse voorbeelden van heuristisch onderwijs in onderwerpen van de schoolnatuurkunde bevat.

Tenslotte is:

C.F.van Parreren & M.C. Schouten-van Parreren, Onderwijsproceskunde. Een bundel artikelen over het hele terrein van leren, onderwijzen en cognitieve ontwikkeling, voorzien van verbindende inleidingen.

Al deze boeken zijn in de laatste jaren verschenen bij Wolters-Noordhoff, Groningen.

Diskussie

nav de lezing.

V.d.Berg: U heeft gesproken over de onvolledige oriëntatiebasis van het oplossen van problemen met een heuristiek. Kunt U iets zeggen over uitgebreide heuristiek ? In de literatuur tref je veel verschillen aan.

Antw. : Dat is precies de vraag die me brengt op een vergeten opmerking ! Er zijn heel toegespitste, heel precieze heuristieken en veel grovere. In het eerste geval is de kans op succes groter, maar het zou voor de leerlingen een extra belasting betekenen: naast de natuurkundestof ook nog de heuristiek. Daarom is er behoefte aan wat globalere heuristieken die weliswaar een grotere kans op mistasten geven. Denk aan schaken: je moet de leerlingen erop attent maken dat er uitzonderingen die ze - en dat is heel belangrijk - zelf moeten leren ontdekken. Klassegesprekken zijn daarbij enorm vruchtbaar !

Molenaar: Wat ik van Galperin altijd moeilijk vind is de rol van de taal. Kunt U daar iets over zeggen ?

Antw. : Galperin is een leerling van Davydov: het materiële handelen is heel belangrijk. Maar je moet naar het formele nivo, de begrippen moeten geïnterioriseerd worden. Dat gaat via de tussenstap van het verbaliseren: vertel hardop wat en hoe je het doet. Een mogelijke werkwijze bestaat erin de klas in groepjes van 2 te verdelen waarvan telkens één leerling zegt wat gedaan moet worden en de ander dat uitvoert. Of: laat de leerlingen naar een voorwerp kijken en laat ze in gedachten handelingen uitvoeren. Hierdoor wordt de perceptieve kant ontwikkeld waardoor het mogelijk is zich een betere voorstelling van verschijnselen te verwerven.

Schipper: Het begrip 'zone van naaste ontwikkeling' van Vygotskij heeft U niet besproken. Wilt U daar iets over zeggen ?

Antw. : Na Davydov bleek dat onderwijs belangrijk is voor het aanbrengen van nivo's. Piaget meende dat de kognitieve ontwikkeling van leerlingen een zeker nivo bereikt moet hebben voor elk soort onderwijs. Het nivo van het onderwijs moet dus het nivo van de leerlingen volgen. Vygotskij daarentegen beweerde dat het onderwijs op de fase van ontwikkeling vooruit moet lopen - niet te ver natuurlijk. Vandaar het begrip 'zone van naaste ontwikkeling'. Wat binnen die zone ligt kan een kind in dialoog met volwassenen al begrijpen en even later al zelfstandig toepassen.

Natuurkunde onderwijs en de cognitieve ontwikkeling
van leerlingen



P.P.M. Molenaar



1. Inleiding

Veel didactisch onderzoek gaat in de richting van de toegepaste onderwijskunde waarbij wordt onderzocht hoe de resultaten van de theoretische onderwijskunde toegepast kunnen worden in de dagelijkse praktijk van het onderwijs.

In ons onderzoek hebben we dat ook geprobeerd en als resultaat hebben we een voorstel hoe de introductie van volume en dichtheid in het begin van de tweede klas zou kunnen geschieden. De volgende punten spelen daarbij een rol.

- a. Vóórschoolse beelden van leerlingen
- b. Het leren van concepten
- c. De overgang van concreet naar formeel
- d. De toepassing op de introductie van volume en dichtheid.

2. De vóórschoolse beelden van leerlingen

Onderzoek naar welke voorstellingen leerlingen hebben van fysische begrippen heeft vooral veel aandacht gekregen omdat het voor een goed leereffect belangrijk is aan te sluiten bij de belevingswereld van de leerlingen. Maar wat de belevingswereld van de leerlingen is is meestal slecht bekend bij de leraar. Het aansluiten bij de belevingswereld is dus een mooie doelstelling die moeilijk te realiseren valt. De praktijk is ook, dat een leerling probeert zo snel mogelijk het begrippenkader van de leraar over te nemen. De leerling weet dat dit een zeer effectieve methode is. Evaluatie van de leerstof zal plaats vinden in de taal van de leraar. Je behaalt dus goede resultaten als je zo snel mogelijk weet hoe de leraar de begrippen hanteert en zowel leraar als leerling hebben vaak niet in de gaten, dat het echte begrip niet of nauwelijks aanwezig hoeft te zijn, omdat er geen koppeling is met de voorstellingen, die de leerling van het onderwerp heeft. Bijvoorbeeld bij de introductie van de elektrische stromen zijn enige bekende voorschoolse beelden (ref. 1).

- . De stroom wringt zich door een dunne draad en ondervindt wrijving.
- . Elektronen hopen zich op voor weerstand of voor een schakelaar.
- . Een centrale levert stroom en de gebruiker neemt stroom af.
- . In de heenleiding zit onverbruikte stroom en in de terugleiding zit verbruikte stroom.

Juist omdat bij de introductie van de elektrische stroom de grootte potentiaal zo lastig is in te voeren proberen we als leraar zo snel mogelijk de Wet van Ohm in te voeren en dan een groot aantal elektrische schakelingen te behandelen. Het is mogelijk, dat de leerling dit feilloos beheerst, terwijl toch een slecht begrip aanwezig is over het wezen van de elektrische stroom.

Een tweede voorbeeld bij volume en dichtheid:

- . Als je bij de introductie van het volumebegrip aan een leerling vraagt te controleren, hoeveel keer een klein bekeerglas in een groter volume past, dan blijkt men bij overgieten een bekeerglas niet tot de rand toe te vullen. Een volle beker melk is ook niet tot de rand toe gevuld. Anders knoei je er maar mee!
- . Veel leerlingen verklaren het verschil in dichtheid tussen verschillende stoffen met een soort compressibiliteitstheorie. Lood heeft een grotere dichtheid dan aluminium, omdat de looddeeltjes dichter bij elkaar zitten. Alle atomen zijn hetzelfde, alleen de onderlinge afstand verschilt in verschillende materialen. Piepschuim heeft een kleine dichtheid omdat er veel lucht tussen de piepschuimmoleculen zit. Op zich nog niet zo'n vreemde theorie.

Belangrijk is het om na te gaan, welke voorstellingen de leerlingen hebben over een bepaald begrip. Vaak zitten er wetmatigheden in het door de leerlingen gevonden en gehanteerde begrippensysteem b.v. behoudswetten blijken door leerlingen snel gehanteerd te worden. Een goed voorbereid interview met enige geselecteerde leerlingen levert de leraar goed materiaal op, om zijn didactiek hierop af te stemmen. Het maken van video's van interviews en leerlingenactiviteiten bleek ook een belangrijk effectief hulpmiddel te zijn om leereffecten op te sporen.

3. Het leren van concepten

In de natuurkunde kan je volgens Karplus (ref. 2) onderscheid maken tussen twee soorten concepten:

1. Specifiek fysische grootheden gebaseerd op definities nodig om metingen te kunnen vergelijken. Bijvoorbeeld kracht, versnelling, elektrisch veld.
2. Concepten die een wetenschappelijke visie in relatie tot het fysische systeem geven. Bijvoorbeeld: interactie, eigenschap, variabele, toestand van de stof.

Op twee manieren kunnen concepten aangeboden worden:

- a. Met behulp van een *parafrase definitie*. B.v. de druk is de kracht per oppervlakte-eenheid.

Vaak wordt dan een concept gekoppeld aan andere en via relaties tussen die concepten wordt een nieuw gedefinieerd. Voor een goed begrip is dan wel noodzakelijk, dat de andere concepten ook goed bekend zijn.

b. Met behulp van een *operationele definitie*. B.v. de druk van een gas is de hoeveelheid cm. kwik, die in een buis omhooggedrukt wordt.

De relatie tussen de verschillende concepten moeten dan via experimenten afgeleid worden.

Cole(ref. 3) heeft aangetoond en uit ons onderzoek is ook duidelijk gebleken dat het in de onderbouw het meest effectief is om concepten via een operationele definitie in te voeren en dat men zich dus minder moet richten op de precieze relatie met andere concepten.

In de bovenbouw blijkt het veel effectiever te zijn om concepten via een parafrase definitie aan te bieden.

Dit pleit natuurlijk ook voor een concentrische leerstofopbouw in het natuurkundeonderwijs. Dus biedt eerst een concept operationeel aan en laat de relaties tussen de concepten experimenteel bepalen en geef in een volgende ronde een meer geparafraseerde definitie met de relaties tussen de grootheden er bij. Een concept als het volume is vaak nog niet goed bekend onder de leerlingen van de tweede klas. Slechts 25% van de 12-jarige leerlingen en 75% van de 14-jarigen (ref. 4) beheersen het volumebegrip. Eigenlijk tot onze verrassing bemerkten we, dat aan het einde van de tweede klas bij de introductie van de wet van Boyle juist een gebrekkige beheersing van het volumebegrip de oorzaak van vele problemen was. Iedere leerling was wel bekend met de in de zesde klas van het Basisonderwijs aangeleerde formule $V=l.b.h.$ Echt begrip was nog bij weinigen aanwezig. Het bepalen van het volume van een cylinder als het oppervlak van het grondvlak en de hoogte bekend zijn gaf grote problemen. Vooral het hanteren van meerdere relaties tussen concepten lukte niet.

De bekende Piaget-proef waarbij de verdringing van water van gelijke volumina van verschillende materialen bekeken wordt, lukte bij 40% van de leerlingen niet.

De fout die het meest gemaakt werd was dat de leerlingen aannamen dat ondanks een gelijk volume een zwaarder lichaam meer water verplaatst (het water wordt 'sterker' weggeduwd weggeduwd).

Daarentegen was het behoud van volume bij vervormen goed bekend. Een stuk klei behoudt bij vervormen hetzelfde volume. Dit kon dan ook gebruikt worden als aanknopingspunt voor het aanleren van het volumebegrip.

Wat betreft het invoeren van het concept dichtheid is uit ons onderzoek gebleken dat vele methoden in Nederland een verkeerde werkwijze volgen. Het invoeren van de dichtheid via de definitie $\rho=m/V$ is onjuist.

Een goed begrip van deze relatie is in het begin van de tweede klas wel aan te leren doch dit kost zeer veel energie, terwijl aan het einde van de tweede klas

deze relatie al veel sneller door de leerlingen begrepen wordt.

Zonder een goed begrip van de relatie $\rho = m/V$ is toch de berekening van de massa, als de dichtheid en het volume bekend zijn, mogelijk en ook de berekening van de dichtheid uit de massa en het volume. Om verwarring tegen te gaan moet de berekening van het volume uit dichtheid en massa vermeden worden.

Een bijkomend risico is dan de mogelijkheid van interferentie tussen de concepten m en V . Daarmee bedoelen we de verwarring die ontstaat als twee concepten een bijna gelijke structuur hebben en de leerling tijdens het hanteren een bijna gelijke structuur hebben en de leerling tijdens het hanteren beide concepten door elkaar gebruikt. Ook is het onzinnig om (wat wel gebeurt) een grafiek te laten maken van de massa uitgezet tegen het volume en daaruit de dichtheid te halen.

4. De overgang van concreet naar formeel

In het natuurkundeonderwijs wordt vaak op formeel niveau gewerkt. Dit is erg discutabel (ref. 5), 80% van de leerlingen van 14 à 15 jaar werkt nog in het concreet niveau. Zelfs slechts 50% van de universitaire studenten in de natuur-, scheikunde- en biologievakken werken hoofdzakelijk in het formele niveau (ref. 6). Het werken met de relatie $\rho = m/V$ ligt zuiver op het formele niveau. Het volledig hanteren van deze formule blijken leerlingen van de tweede klas nog niet te kunnen. De laatste jaren is er nogal wat onderzoek verricht over de vraag hoe we de omstandigheden kunnen creëren, zodat bij de leerlingen de overgang van concreet naar formeel plaats vindt. Lawson (ref. 7) heeft uitvoerig onderzoek gedaan aan de volgende 4 vragen.

1. Kan een goede instructie de overgang van concreet naar formeel niveau bewerkstelligen.
2. Treedt er dan ook transfer op. Met transfer wordt bedoeld het vermogen van de leerling zijn kennis ook elders toe te passen.
3. Gaan er tegelijkertijd ook andere aspecten van een concreet naar een formeel niveau.
4. Is er een relatie tussen de intellectuele ontwikkeling en de overgang concreet formeel.

De eerste twee onderzoeksvragen bleken inderdaad juist te zijn. Punt 3 en 4 konden nog niet aangetoond worden.

Bij ieder onderwerp blijft natuurlijk wel het probleem bestaan: hoe moet de instructie zijn zodat versnelling van de overgang concreet formeel optreedt. Cole (ref. 3) heeft enige suggesties gegeven die effectief blijken te zijn.

- a. Biedt de stof via experimentele weg aan met veel variëteit aan context (ref.8). Laat het fysisch principe *verbaliseren* door de leerlingen waarbij de fysica niet juist hoeft te zijn. Als er maar een vorm van begrip komt in de taal van de leerling. We noemen dit een vormgevend kenmerk. Bij de introductie van volume en dichtheid kan zo'n vormgevend kenmerk zijn: 'Het volume is de waterverplaatsing in een maatglas' en 'Dit voorwerp is zwaar voor zijn grootte'.
- c. Confronteer de leerlingen met andere meningen, zonder hun eigen beelden van tafel te vegen.
- d. Laat ze kennis maken met fouten in redeneringen die wel onmiddellijk gecorrigeerd moeten worden (ref. 9). Het is onderzocht dat deze methode in de tweede en de derde klas zeer effectief is. In de bovenbouw niet. Dan werkt het weer beter als het correcte fysische principe direct wordt aangeboden. Dus b.v. direct met formules werken en van daaruit eigenschappen bekijken.

5. Toepassing op de introductie van volume en dichtheid

Beknopt leerplan van lessen.

Deze serie is 2 jaar uitgetest op enige tweede klassen VWO/HAVO en gecorrigeerd. Het uitgewerkt lesplan kan aangevraagd worden bij de afdeling didactiek van natuurkunde, Universiteit van Amsterdam, Nieuwe Achtergracht 170.

1. Volumina vergelijken (door te schatten) van cylinders met gelijk bodemoppervlak en later van cylinders met gelijke hoogte. Dezelfde volumina vergelijken door overgieten. Aflezen van een maatglas.
2. Vergelijken van volume van blok ($a \times 1 \times 1$) met kubus ($a \times a \times a$).
Meting volume blok en kubus met maatglas.
Volume meting met een overloopvat van staafje en stuk plasticine, ook na vervormen van het plasticine.
Bepaling van de massa met een balans.
3. Bepaling van massa en volume van 2 stukjes plasticine.
Uitvoering deling m/V.
4. Bepaling van massa en volume van 1 cm^3 , 3 cm^3 , 8 cm^3 messing.
Uitvoeren deling m/V.
Vergelijken plasticine met deling.
5. Sorteren materialen op dichtheid bij gelijk volume.
Sorteren materialen op dichtheid bij gelijke massa.
Sorteren willekeurige stukjes materialen op dichtheid.

6. Bepaling dichtheid (van 3 metalen).
7. Formatieve toets.
8. Herhaling of extra stof.
9. Herhaling of extra stof
10. Eindtoets.

Referenties

1. R. Duit, Alltag vorstellungen und Physik unterricht, I.P.N. Seminar 26, Kiel, 1982.
2. R. Karplus - Am. J. Phys. 49 (3), 1981.
3. R.J. Cole, Raven - J. Res. Science Teaching (234), 1969.
4. R. Schneider, J.W. Renner - Concrete and Formal Teaching, J. Res. Science Teaching (504), 1980.
5. R.G. Fuller, R. Karplus - Can physics develop reasoning, Physics Today (23), 1977.
6. G.J. Pallrand - The transition to formal thought, J. Res. Science Teaching (445), 1979.
7. A. Lawson, W.T. Wollman, J. Res. Science Teaching (413), 1976.
8. A. Lawson, R. Karplus, H. Aldi, J. Res. Science Teaching (465), 1978.
9. Blake, A. Lawson, J. Res. Science Teaching (227), 1976.

Diskussie

nav de lezing.

H.v.d. Rijst:

Vraag: De begrippen massa en volume overlappen elkaar vaak.
Verdwijnt dit probleem door de geschetste aanpak?

Antwoord: Ja, het volume krijgt extra accent. De verwarring verdwijnt.

J. Raat:

Vraag 1: Moet men de conclusie trekken dat leerlingen, die geen goed antwoord geven, niet formeel kunnen denken?

Vraag 2: Is één doelstelling van de geschetste aanpak: via concreet handelen leert men formeel denken?

Opmerking: De stappen in het proces m, v , $\frac{m}{v} = \text{constant}$ zijn te groot.
Voor verschillende materialen geldt dit zelfs niet.

Antwoord: Bij relaties lopen de begrippen formeel en concreet dooreen.
We moeten soms erg veel energie steken in pogingen om het formele stadium te bereiken.

Dat is kostbaar in tijd en daarom is het vaak beter die pogingen uit te stellen. Wij gaan vaak door door op $\rho = \frac{m}{v}$.

Schimmel:

Vraag: Over welke leerlingen ging het verhaal?

Antwoord: Een willekeurige groep HAVO-VWO leerlingen.

Botterweg:

Opmerking: Van de 14- en 15 jarigen kan 80% alleen concreet denken.
Bij Atheneum leerlingen van die leeftijd denkt 50% al formeel,
bij MAVO leerlingen 0%.

H.de Vries:

Opmerking: Men moet zich met kinderen zó lang bezig houden tot het formele stadium bereikt is.
De methode Vygotskij spreekt een aantal leerlingen helaas niet aan.
Daarom maar liever Piaget.

Vraag 1: Zijn leerlingen die bij Vygotskij uit de mand vallen slecht in natuurkunde en werkt deze methode dan selecterend?

Vraag 2: Bestaat er ook een verband tussen de emotionele en motorische ontwikkeling en het formeel denken?

Antwoord: Het z.g. zelfontdekkend leren leidt vaak tot teleurstelling bij sommige leerlingen. We moeten meer kijken naar de individuele verschillen per leerling.
Het probleem is: moet je aansluiten bij bestaande kennis of bij de zone van naaste ontwikkeling?
Voor sommigen ligt die zone niet erg ver en is hij smal.

Het leren maken van natuurkunde vraagstukken



J.S. van den Berg



In het natuurkunde onderwijs neemt het maken van vraagstukken nog steeds een grote plaats in. Men kan dit betreuren; of men dat ook moet, is een andere zaak. Zolang de schriftelijke (eind-)examens bestaan uit vraagstukken, zullen er op de scholen vraagstukken gemaakt worden. Gegeven deze situatie is het gewenst, dat het maken van vraagstukken dan ook op een functionele manier gebeurt. De vraag is dan welke functie het maken van vraagstukken kan hebben en op welke manier je dit kunt bereiken.

In mijn voordracht ben ik op deze vragen ingegaan, wat hier volgt is een samenvatting van wat ik toen naar voren heb gebracht. Het hele verhaal staat tegen de achtergrond van een onderzoek dat ik uitgevoerd heb in klas 4-vwo.

De opbouw van het verhaal is als volgt:

1. leerlingen en vraagstukken
2. sturen van leerlingengedrag
 - a. heuristieken
 - b. leerstofschemata's
3. belang van het onderwerp
4. kort verslag van een experiment op 12 scholen
5. enkele voorlopige resultaten
6. samenvattende conclusies

1. Leerlingen en vraagstukken

Hoe gaan leerlingen om met vraagstukken? Deze vraag is een toespitsing van de vraag hoe mensen in het algemeen omgaan met vraagstukken en problemen.

In de psychologie is behoorlijk wat aandacht aan dit probleem gegeven. Bekend is het onderzoek van Köhler met apen: Buiten de kooi ligt een banaan, echter buiten het bereik van de aap. Ook met behulp van een stok kan de aap niet bij de banaan. Pas als de aap op het idee komt twee stokken aan elkaar te bevestigen lukt het hem de banaan naar zich toe te halen.

Wat hier aangeduid werd met 'op het idee komen' is bekend gebleven als 'doorbreken van inzicht' of als het krijgen van een 'aha-erlebnis'.

Bij de bestudering van de literatuur stuit je op het probleem dat er bij de onderzoekingen bepaalde soorten problemen gebruikt worden: schaakproblemen, kryptogrammen, kryptoritmen, luciferpuzzels, verborgen figuren, enz. Deze problemen wijken nogal af van de vraagstukken die op school aan de orde komen. Men zal dus moeten nagaan in hoeverre de resultaten bruikbaar zijn voor de les-situaties.

Hoewel we bij de natuurkunde ook te maken hebben met inzicht, mogen we in onze didaktiek toch niet alles ophangen aan een 'aha-erlebnis'. In de vakdidaktiek als interdiscipline wordt o.a. aandacht besteed aan de 'aansluitingsproblematiek' tussen resultaten van de leerpsychologie (en aanverwante gebieden) en de praktijk van het onderwijs.

Men kan konstateren dat er mensen zijn die goed met vraagstukken omgaan en dat er mensen zijn die niet zo goed problemen kunnen oplossen. Vaak hangt ook dit weer af van de soorten vraagstukken die men voorgelegd krijgt. Een vrij algemene reactie bij minder goede probleemoplossers is onsystematisch trial and error gedrag (zie voordracht van Van Parreren). In een vooronderzoek heb ik aandacht besteed aan het gedrag dat leerlingen vertonen bij het maken van vraagstukken. Met behulp van enkele hardop-denken-protokollen heb ik getracht daarop wat zicht te krijgen. Daarbij kwamen enkele dingen naar voren (de protokollen zijn opgenomen in VWO-4 en VWO-6):

- a. leerlingen vertonen de neiging direct naar formules te willen grijpen; weten ze zich niet direct een formule te herinneren dan kunnen ze 'het' niet;
- b. er is vaak een fixatie op de vraagstellingen; leerlingen zijn vaak meer gericht op het produceren van een antwoord dat ze eerst de gegevens analyseren;
- c. leerlingen willen de leerstof nog wel eens door elkaar halen; dit gaat vaak samen met het vertonen van onzekerheidsgevoelens;
- d. een gegeven antwoord slaat soms niet op de vraag;
- e. sommige leerlingen vertonen inactief gedrag, zij weten niet hoe ze het vraagstuk aan moeten pakken;
- f. ook leerlingen vertonen vaak onsystematisch trial and error gedrag.

Vooraf de laatste twee gedragsvormen komen nogal eens voor in de lessituatie, o.a. in 4-VWO. Als leraar kun je je dan de vraag stellen wat je daaraan kunt doen.

In dit paragraafje stel ik zo een paar dingen:

- a. de resultaten van de leerpsychologie zijn niet zonder meer toepasbaar in de lessituatie; hier ligt een 'vertalingsfunctie' van de vakdidaktiek.
- b. onderzoek naar het oplossingsgedrag van leerlingen bij het oplossen van vraagstukken laat zien dat dit gedrag voor verbetering in aanmerking komt; vooral onsystematisch trial and error gedrag en inactiviteit zijn voorkomende maar minder gewenste gedragingen. Het is nodig dat het leren maken van vraagstukken onderdeel van ons lesgeven wordt.

2. Sturen van leerlingengedrag

a. Heuristieken

Wil je het inactieve gedrag van leerlingen doorbreken, dan moet je ze activeren. Wil je onsystematisch trial and error gedrag voorkomen, dan moet je de leerlingen gerichte aanwijzingen geven.

Wat betreft dit laatste punt rijzen er problemen. Hoe gericht moeten of kunnen de aanwijzingen zijn? We kennen zeer algemene aanwijzingen als: lees eerst wat er staat en wat er gevraagd wordt, of: werk netjes en overzichtelijk, noteer de gegevens, het gevraagde en geef daarna de oplossing. Naast deze algemene aanwijzingen kennen we de zeer gerichte voorschriften met behulp waarvan b.v. een vierkantsvergelijking opgelost kan worden.

Volg je in dit laatste geval precies de voorschriften en maak je geen rekenfouten, dan krijg je onherroepelijk het goede antwoord. Zulke voorschriften die garanderen dat je het goede antwoord vindt worden algoritmen genoemd.

Algoritmische voorstellingen zijn niet altijd mogelijk en niet altijd gewenst. Als dit het geval is kun je toch meer doen dan alleen maar een paar zeer algemene aanwijzingen geven. Je geeft dan aanwijzingen die activeren en tegelijk meer systematiek in het gedrag brengen, maar die niet garanderen dat de oplossing gevonden wordt. Zulke aanwijzingen heten heuristische aanwijzingen. Het zijn zoekregels die de kans verhogen dat je een probleem tot een oplossing brengt. Een aantal van zulke regels samen kunnen 'gebundeld' worden tot een heuristiek. Een voorbeeld van een heuristiek is hieronder weergegeven.

Basis-heuristiek

1. Analyse van het probleem

- Lees het hele vraagstuk
- Maak een duidelijke tekening
- Zet de gegevens in de tekening
- Geef de gevraagde grootte aan in de tekening
- Ga na welk(e) leerstof(schema) te gebruiken is.

2. Omwerking tot een standaardprobleem

Als je niet te maken hebt met een standaardprobleem:

- Ga dan uit van het gevraagde en schrijf relaties op waarin het gevraagde voorkomt; ga daarbij na of de relaties voor de geschetste situatie geldig zijn

- Ga na of de gegevens in één van deze relaties het gevraagde tot enige onbekende maken
- Als dat niet het geval is, probeer dan de ontbrekende grootte (grootheden) op te zoeken.

3. Uitwerking

In deze basis-heuristiek is de volgende grondvorm aanwezig:

- | | | |
|-------------------|---|------------|
| 1. analyse | } | oriëntatie |
| 2. omwerking/plan | | |
| 3. uitwerking | | |
| 4. controle | | |

Enkele toelichtende opmerkingen:

1. Een oplossingsproces kan men opdelen in fasen. De grondvorm van de heuristiek geeft de namen van deze fasen. Men moet deze opdeling niet statisch opvatten. Het is niet zo dat eerst de analyse-fase volledig afgerond moet zijn voordat aan de volgende fase begonnen kan worden. In de praktijk zal een oplossingsproces vaak cyclisch van karakter zijn. Het eerder gesignaleerde onsystematische trial and error gedrag vindt vaak zijn oorzaak in het feit dat leerlingen te snel naar de uitwerkingsfase willen. De leerlingen blijven dan in deze fase rondwroeten zonder het probleem voldoende geanalyseerd te hebben. Zij doorlopen de fasen noch lineair, noch cyclisch.
2. De opdeling in fasen is gebaseerd op onderzoeken bij zowel goede als slechte probleemoplossers. Men kan stellen dat het een algemeen te herkennen patroon is, dat al of niet goed funktioneert. Het is daarom gewenst alle leerlingen te confronteren met een goede manier van handelen bij het oplossen van vraagstukken.
3. De fase-indeling kan een hulpmiddel zijn om de problemen van de leerlingen op te sporen. Heeft de leerling een fase overgeslagen of onvoldoende afgevoerd? Loopt een leerling vast in de analyse-fase omdat de leerstof niet goed begrepen is of omdat de vraagstelling onduidelijk is? Enz.
4. Voor iedere fase zijn meer of minder aanwijzingen te formuleren. De basisheuristiek is slechts een voorbeeld. In de literatuur zijn er vele anderen te vinden. De aanwijzingen en de uitgebreidheid ervan hangen af van je doelstellingen en de soorten vraagstukken.
5. De fasen 1 en 2 worden nogal eens samen genomen; zij vormen dan de oriëntatiefase. Deze benaming heeft tot voordeel dat ze iets meer nadruk legt op de intentionele activiteit van de leerling. Daarnaast drukt ze uit dat fase 1

en 2 bij veel problemen nauwelijks te (onder)scheiden zijn. Bij de omwerking en het opstellen van een oplossingsplan zal men doorgaan met analyseren.

6. In de controle-fase gaat het niet alleen om de controle van het verkregen antwoord, maar ook om het rekapitulieren van het oplossingsproces. Het is nodig dat leerlingen gaan nadenken over wat ze aan het doen zijn bij het oplossen van een probleem. Ze moeten komen tot een zekere reflectie. In het ideale geval kan dit ertoe leiden dat de leerlingen zelf heuristische gaan opstellen of voor zichzelf de basisheuristiek gaan uitbreiden. Deze reflecterende activiteit is voor alle leerlingen van belang, ook voor de goede leerlingen. Bij het leren maken van vraagstukken gaat het in feite om het leren omgaan met vraagstukken en problemen.

Het oplossen van een vraagstuk doet een beroep op bepaalde activiteiten van de leerling. Een leerling moet iets doen en het liefst op wel-overwogen wijze. In het onderwijs kan daaraan aandacht gegeven worden door de leerlingen een strategie bij te brengen die zijn nut bewezen heeft. Dit strategische aspect van een oplossingsproces kan aangepakt worden m.b.v. een heuristiek.

b. Leerstofschema's

Hierover wil ik kort zijn.

Voor het oplossen van een vraagstuk is vakinhoudelijke kennis nodig. In de analyse-fase ga je na welke vakkennis van toepassing is. Dit is het inhoudelijke aspect van een oplossingsproces.

Het is gewenst dat deze vakkennis in operationele vorm aanwezig is bij de leerlingen. Dit kun je proberen te bereiken door de leerstof overzichtelijk weer te geven in een schema. In bijlage 1 is hiervan een voorbeeld gegeven. In zo'n schema zijn de onderlinge verbanden van de leerstofelementen weergegeven.

Het verdient aanbeveling de leerlingen zelf zulke schema's te maken. Op dit punt, het leren door schematiseren, ga ik niet verder in. Er is literatuur over opgenomen in de literatuurlijst.

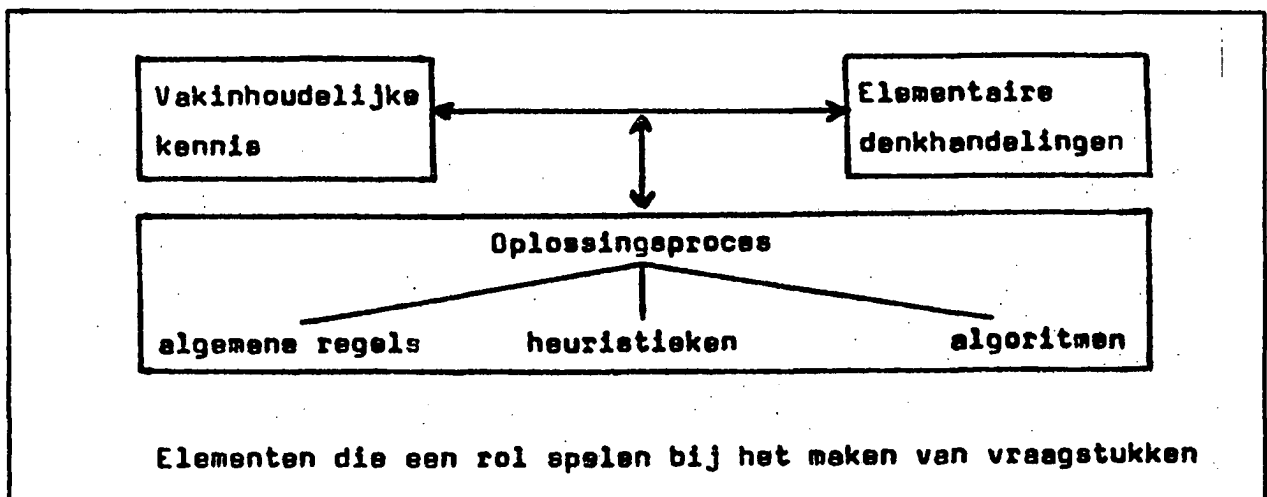
Heuristieken en leerstofschema's vormen samen een oriëntatiebasis voor het maken van vraagstukken. Deze oriëntatie-basis is per definitie onvolledig.

3. Het belang van het onderwerp

Het bovenstaande is een pleidooi om bij het behandelen van vraagstukken in de les afzonderlijk aandacht te vragen voor het oplossingsproces zelf. Het is gewenst de leerlingen te leren hoe ze moeten omgaan met vraagstukken.

Een bezwaar dat nog wel eens tegen heuristieken wordt ingebracht is, dat het een bepaalde vorm van eenzijdige perfectie zou zijn. In het onderwijs spelen toch veel meer zaken een rol? Moet er niet meer aandacht gegeven worden aan de maatschappelijke veranderingen en hun invloed op het onderwijs? Moet het natuurkunde-onderwijs zich niet krachtiger vernieuwen in de richting van het 'meer-mensen-mondig-maken'? Is het maken van vraagstukken niet een achterhaalde zaak en moet er niet meer aandacht gegeven worden aan praktikum en self-discovering? Enz. enz.

Het is ongetwijfeld waar dat er meer zaken een rol spelen in het natuurkunde onderwijs dan het maken van vraagstukken. Het belang van het praktikum is al zo vaak aangetoond dat iedereen daarvan overtuigd zou moeten zijn. Zaken als de leefwereld van het kind en maatschappelijke betrokkenheid verdienen eveneens de nodige aandacht. Het is echter onjuist deze zaken te verabsoluteren. Als praktikum niet meer is dan leuk bezig zijn lijkt de waarde ervan mij maar betrekkelijk. Het lijkt me een van de problemen om vanuit het praktikum te 'integreren naar' 'de' theorie. 'Aansluiten bij' het konkrete niveau mag niet worden een 'opsluiten in'. Gelijksortige opmerkingen lijken me te maken over het aansluiten bij de leefwereld van de leerlingen en de maatschappelijke betrokkenheid. Beide mogen geen doel in zichzelf zijn, maar staan in het kader van alle schooldoelstellingen die nagestreefd worden. Evenzo lijkt zelfontdekkend leren in een aantal gevallen zinvol, maar er kunnen grote bezwaren aan kleven alles langs deze weg te 'onderwijzen'. Alleen sommentraining is ook onjuist. Maar alleen al vanwege de tijd die er in het onderwijs aan het maken van vraagstukken besteed wordt is het zinvol er speciale aandacht aan te geven. Het belang van het onderwerp gaat echter verder. Dit wil ik aantonen met onderstaand plaatje.



In dit plaatje zijn weergegeven de elementen die een rol spelen bij het omgaan met vraagstukken. Over de rol van de vakinhoud is al het een en ander gezegd. Bij de leerlingen moet de leerstof in operationele vorm aanwezig zijn. De elementaire denkhandelingen hangen o.a. samen met de (kognitieve) ontwikkeling van de leerlingen. In je onderwijs en bij het maken van vraagstukken, maak je gebruik van dingen die de leerlingen al moeten beheersen; je bouwt erop verder. In de bovenbouw moeten de leerlingen zonder meer een vierkantsvergelijking kunnen oplossen. Deze vaardigheid veronderstel je aanwezig? ze is als het ware een bouwsteentje dat reeds in het geheel aanwezig moet zijn. Eveneens zullen de leerlingen al bepaalde gedachtegangen moeten kunnen volgen en soms zelf moeten kunnen opzetten. Voor een student in de thermodynamica zijn de warmte berekeningen van het VWO elementair. De elementaire denkhandelingen bevatten zo een geheel aan kennis en (kognitieve) vaardigheden, die zelf weer opgebouwd gedacht kunnen worden uit eerder verworven 'bouwsteentjes'. Ieder vraagstuk doet een beroep op een oplossingsstrategie. Als een leerling deze niet voorhanden heeft, is het gevaar groot dat hij of zij inefficiënt gedrag gaat vertonen zoals onsystematisch trial and error gedrag.

Bij het maken van een vraagstuk spelen meer elementen dan alleen de vakinhoud een rol. De stelling dat elk vraagstuk is op te lossen als je maar inzicht in het vak hebt of als je de stof maar begrijpt lijkt me onjuist. Er kunnen ook knelpunten bij de andere elementen liggen.

Tijdens het oplossingsproces is er een heen en weer gaan tussen de vakinhoud in het oplossingsproces ingebed moet worden of zijn. Dit proces kan weer van invloed zijn op het begrijpen van de leerstof. Het maken van een vraagstuk heeft niet alleen tot doel dat een leerling zijn inzicht vertoont, maar ook dat het inzicht verdiept wordt.

Soortgelijke opmerkingen zijn ook te maken t.a.v. de elementaire denkhandelingen. Door ze te reaktiveren kan hun wendbaarheid vergroot worden, terwijl ze op hun beurt bijdragen aan het begrijpen van de van de vakinhoud en het oplossen van de vraagstukken.

Deze wederzijdse beïnvloeding wordt in het plaatje weergegeven door de dubbele pijlen. Het leren maken, of beter het leren omgaan met vraagstukken moet dan ook plaatsvinden in dit totaal kader. Het moet gebeuren bij de behandeling van de gewone natuurkunde-vraagstukken. Dit voorkomt wat wel genoemd wordt systeem-scheiding.

Als de leerlingen geleerd hebben hoe ze het best kunnen omgaan met vraagstukken zijn ze beter in staat te laten zien dat ze de leerstof begrepen hebben. Dit werpt tegelijk een bepaald licht op zgn. inzichtvraagstukken. Sommigen gebruiken deze vraagstukken om het 'inzicht' van de leerling te toetsen, anderen gebruiken ze om te toetsen in hoeverre een leerling heeft leren denken. Van der Sluis merkt op: 'Het toetsen van leren denken, zoals dit door de zgn. inzichtvraagstukken gebeurt, is in zekere zin onbillijk, omdat men hiermee de leerlingen uitsluit die, op een andere manier onderwezen, ook tot dat inzicht hadden kunnen komen.'

Door in ons onderwijs expliciet voor deze dingen aandacht te vragen verlangen we van onze leerlingen reflectie op hun gedrag en denken. Dit is iets wat tijd vraagt en daarom een een consistent gedrag van de docent noodzakelijk maakt. Op dit punt, het docentengedrag, ga ik nu niet verder in. In dit proces, waarin naast de vakinhoud oplossingsstrategieën aan de orde komen kunnen we proberen de leerlingen een betere probleem-oplossende-attitude bij te brengen. Het leren omgaan met vraagstukken is van invloed op de vorming van de leerlingen. Tegelijk is het een bijdrage aan het leren leren, één van de doelstellingen van de onderwijsvernieuwingen. Het is een onderdeel van wat wel genoemd wordt ontwikkelend-onderwijs. Het leren van de natuurkunde kan hiermee alleen maar gebaat zijn, omdat genoemde probleem-oplossende vaardigheden een grote rol spelen bij het praktikum en discovery-learning.

4. Kort verslag van een experiment met 12 scholen

Het experiment waarover het hier gaat is gedaan in VWO-4.

In samenwerking met een aantal docenten (gestart werd met 13, waarvan er 4 door ziekte e.d. zijn afgevallen) zijn enkele heuristieken en leerstofschemata opgesteld. In de eerste fase van het onderzoek hebben de docenten ervaring opgedaan in het hanteren van deze hulpmiddelen. Op basis van enkele afspraken is er vervolgens in de cursus '81/'82 mee lesgegeven bij de onderwerpen 'beweging' en 'krachten'.

Tijdens deze periode zijn er voor het onderzoek enkele proefwerken afgenomen. Deze proefwerken zijn ook gemaakt door een controlegroep. Op deze wijze wordt geprobeerd het effect van de heuristieken en de leerstofschemata vast te stellen.

In dit verband een enkele opmerking over het belang van de samenwerking met docenten. Ik ben ervan overtuigd dat de leerpsychologie (en aanverwante gebieden) dingen te zeggen hebben die van belang zijn voor het onderwijs.

| aantal | | | | aantal | | | |
|----------|-----|-----------|-----------|--------|-----|-----------|-----------|
| Doc. | 11. | \bar{x} | \bar{a} | Doc. | 11. | \bar{x} | \bar{a} |
| A | 31 | 4,4 | 0,41 | Z | 16 | 3,8 | 0,24 |
| B | 27 | 3,9 | 0,22 | Y | 15 | 3,7 | 0,00 |
| C | 24 | 4,1 | 0,30 | X | 27 | 3,1 | 0,06 |
| D | 8 | 4,1 | 0,52 | W | 37 | 3,9 | 0,07 |
| E | 10 | 3,5 | 0,68 | V | 23 | 4,6 | 0,17 |
| F | 45 | 4,8 | 0,52 | U | 23 | 4,0 | 0,18 |
| G | 22 | 3,6 | 0,18 | | | | |
| H | 20 | 6,3 | 0,70 | | | | |
| J | 17 | 5,5 | 0,35 | | | | |
| K | 20 | 5,3 | 0,48 | | | | |
| tot. 224 | | | | 141 | | | |
| 4,6 | | | | 3,8 | | | |
| 0,42 | | | | 0,11 | | | |

Links : experimentele groep

Rechts : kontrolegroep

\bar{x} : prestatiescore

\bar{a} : analysescore

De resultaten moeten met grote voorzichtigheid geïnterpreteerd worden.

De analyse-score van de experimentele groep is significant groter. In hoeverre dit van invloed is op de hogere prestatiescore wordt nog nader geanalyseerd.

6. Samenvattende konklusies

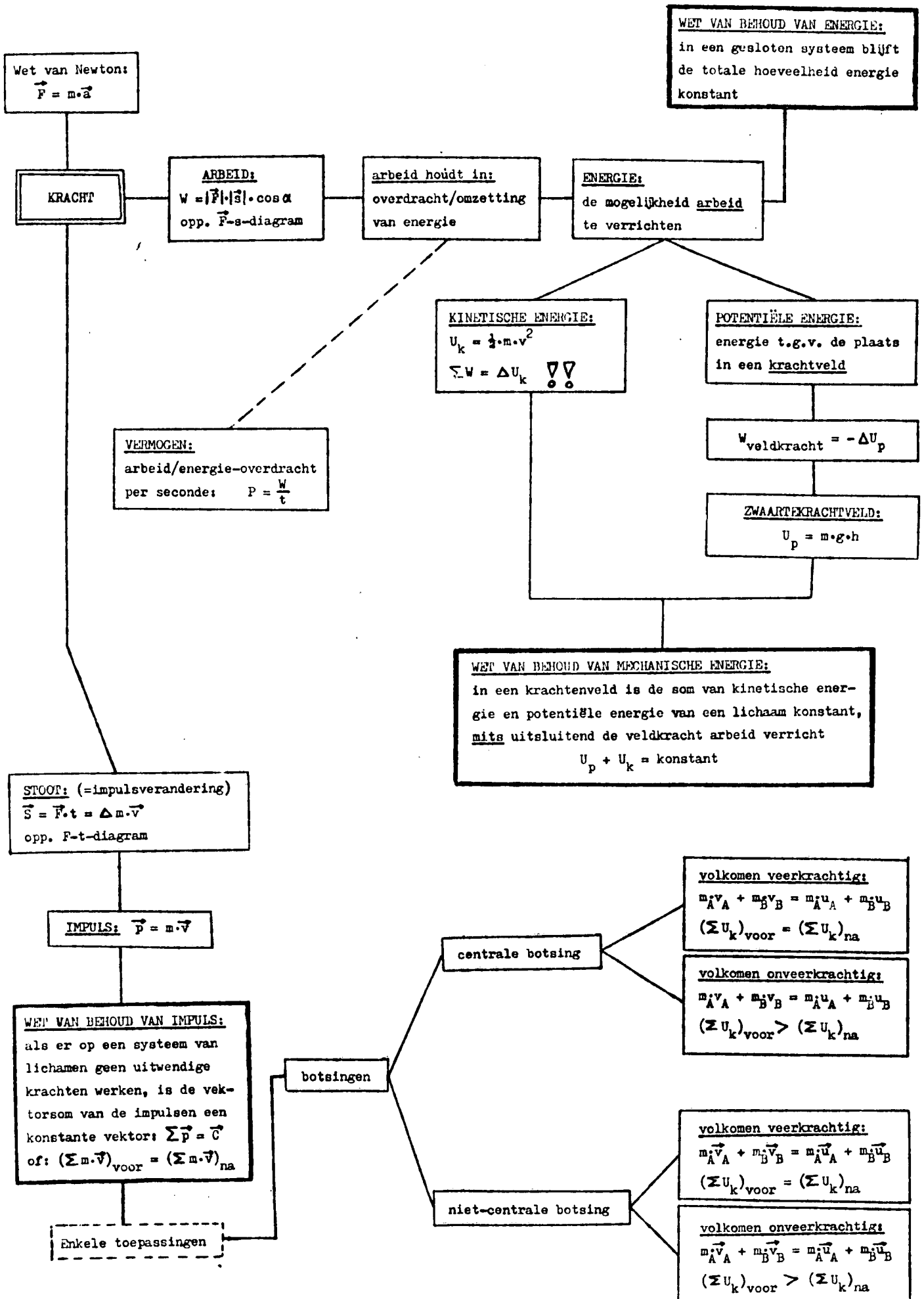
- Veel leerlingen vertonen een minder gewenst oplossingsgedrag bij het maken van vraagstukken.
- Analyse van de elementen die een rol spelen bij het maken van een vraagstuk laat zien, dat het (leren) maken van vraagstukken een functionele plaats kan innemen in het onderwijsleerproces.
- Het is nodig dat er op school expliciet aandacht besteed wordt aan het leren omgaan met vraagstukken.
- Onderzoeksresultaten suggereren een positief effect van het lesgeven m.b.v. heuristieken en leerstofschemata's.

Al met al: het leren omgaan met vraagstukken draagt bij tot de optimalisering van het onderwijsleerproces en dus tot de opvoeding van de leerlingen.

Enige literatuur

- Breuker, J., In kaart brengen van leerstof, Utrecht/Antwerpen 1980, Het spectrum (Aula 801)
- Carpay, J.A.M., Over leerlingen gesproken, Amsterdam 1979, Vrije Universiteit
- Hudgins, B.B., Problem solving op the classroom, New York 1968, The Macmillan Company
- Lesgold, A.M. e.a. (ed.), Cognitive psychology and instruction, New York 1978, Plenum Press
- Lochhead, J. and J. Clement (ed.), Cognitive process instruction, Philadelphia 1979, The Franklin Institute Press
- Mettes C.T.C.W. en A. Pilot, Over het leren oplossen van natuurwetenschappelijke problemen, Twente 1980, Technische Hogeschool
- Mirandé, M.J.A., Studeren door schematiseren, Utrecht/Antwerpen 1981, Het spectrum (Aula 805)
- Parreren, C.F. van, Psychologie van het leren 1, Deventer 1971, van Loghum Slaterus
- Parreren, C.F. van, Psychologie van het leren 2, Deventer 1970, Van Loghum Slaterus
- Parreren, C.F. van, Leren op school, Groningen 1976, Wolters-Noordhoff
- Parreren, C.F. van en J.A.M. Carpay, Sovjetpsychologen over onderwijs en cognitieve ontwikkeling, Leerpsychologie en onderwijs 4, Groningen 1980, Wolters-Noordhoff
- Parreren, C.F. van en W.A. van Loon-Vervoorn, Denken, teksten en analyses Sovjet-psychologie 1, Groningen 1975, H.D. Tjeenk Willink
- Parreren, C.F. van en M.C. Schouten-van Parreren, Onderwijskunde, Leerpsychologie en onderwijs 5, Groningen 1981, Wolters-Noordhoff
- Polya G., How to solve it, New Jersey, Princeton 1973, Princeton University
- Sluis, Y.B. van der, Problemen rond de begeleiding, in: M. Matthijssen e.a., Problemen van het voortgezet onderwijs, Katwijk aan Zee 1977, Servire B.V.
- Teyken, C., Leren probleemoplossen, Groningen 1981, Wolters-Noordhoff.

Schema over Behoudswetten

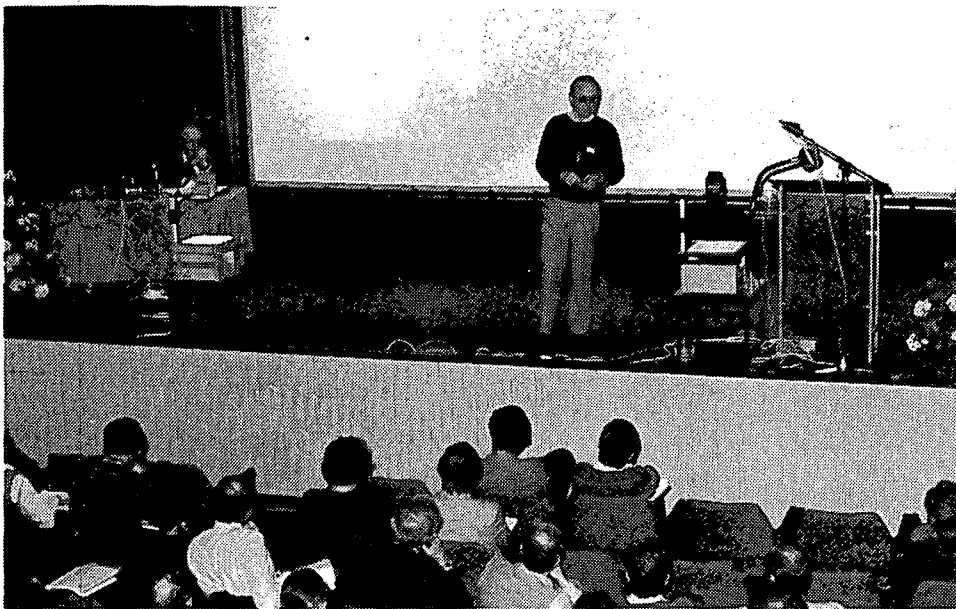


De kleinkinderen van Aristoteles,

het heen en weer denken tussen makro- en mikrowereld



W. de Vos



Als je niet uit het natuurkunde - maar uit het scheikunde-onderwijs komt en als je niet eerder een Woudschotenkonferentie hebt meegemaakt dan kun je je moeilijk een voorstelling maken van wat er hier van je verwacht wordt. Ik ben, als voorbereiding op mijn verhaal maar eens begonnen met in het verslag van de vorige Woudschotenkonferentie te bladeren. Zo'n verslag geeft misschien een indruk van wat er hier allemaal mogelijk is.

In de inhoudsopgave van dat verslag zag ik de naam van de heer Mulder staan en ik heb toen eerst zijn verhaal maar eens gelezen. En één zinnetje in dat verhaal is bij mij blijven hangen: "De eerste leermeesters in het natuurkundelokaal zijn de molekulen zelf". Ik zal de eerste zijn om te roepen dat het hier volkomen uit zijn verband gerukt is, maar het viel me op omdat ik juist van iemand als Mulder wat anders verwacht had. Voor mijn gevoel zou Mulder als leermeester in het natuurkundelokaal de veertjes aanwijzen, en de voltmeters en de magneten en de balans. In die zienswijze zijn de molekulen veel meer het verhaal, dat door die leermeesters wordt verteld. Maar ik zei al, het zinnetje staat hier helemaal uit zijn verband en ik wil ook helemaal niet proberen om Mulder onderuit te halen want ik heb een grenzeloze bewondering voor mensen zoals hij. Toch geeft dat woordje "zelf" een idee alsof de molekulen in de wereld om ons heen de enige echte werkelijkheid vormen. En dat de tafels en stoelen die wij zien, in feite helemaal geen tafels en stoelen zijn, maar agglomeraties van molekulen, die op onze zintuigen de indruk wekken tafels en stoelen te zijn. Prof. van Parreren heeft erop gewezen dat je op die manier naar je omgeving kunt kijken, bijvoorbeeld naar een schilderij, maar dat het niet de enige manier is om ernaar te kijken en lang niet altijd de verstandigste. Het is als een bril die je naar keuze op of af kunt zetten. Als een netwerk van begrippen dat je over de dingen heen spreidt, maar het kan er ook weer af. Ik kan me voorstellen dat iemand die moet nagaan of dat schilderij een vervalsing is, dat die zo'n bril, zo'n netwerk nodig heeft, maar gelukkig kun je het schilderij ook nog gewoon mooi of lelijk vinden of er met bijvoorbeeld een kunsthistorisch oog naar kijken.

Tot zover over dat zinnetje. De voornaamste reden waarom ik het nodig had is dat ik er zelf een variant op gemaakt heb, die ik als een rode draad door mijn verhaal wil laten lopen:

De eerste leermeesters in de natuurkundendidaktiek zijn de leerlingen zelf.

Ik heb niet de illusie dat ik daar iets revolutionairs mee beweer, maar het is wel de moeite waard om vast te stellen. Zelf heb ik het in het scheikunde-onderwijs gemerkt maar ik denk dat het voor het natuurkunde-onderwijs ook wel

zal gelden, n.l. dat echte vooruitgang in de didaktiek van het vak altijd op de een of andere manier terug te voeren is op wat leerlingen hebben gezegd of gedaan. Dat geldt voor de vakdidaktiek als een kollektieve bezigheid maar ook voor de vooruitgang die je zelf, in je eentje soms doormaakt. De bron is uiteindelijk altijd in de klas te vinden. Ik wil niet zeggen dat leerlingen nou zoveel verstand van didaktiek hebben, maar alles wat wij van didaktiek van ons vak begrijpen hebben we wel aan leerlingen te danken.

Dat betekent overigens meteen dat je in je eigen klas een unieke gelegenheid hebt om jezelf na te scholen. Daar kan geen nascholingskursus tegenop. Je leert het meest als je in je eigen klas gewoon je ogen en je oren openhoudt.

Ik moet daar wel een waarschuwing bij geven. Ik heb dit soort dingen wel eens vaker beweerd en verstandiger kollega's hebben me er toen wel op attent gemaakt dat je niet tegelijkertijd onderwijs kunt geven en zelf didaktiek kunt leren. Je bent in de eerste plaats verantwoordelijk voor het onderwijs aan je leerlingen, daar word je voor betaald. Maar daarnaast kun je, als het ware met een derde oog en een derde oor wel van alles en nog wat registreren en daar achteraf iets mee doen. Ik heb vaak gewerkt met een bloknotje in de hoek van het lokaal waar ik dan vlug even iets op schreef als er wat bijzonders gebeurde.

Een andere manier is om een mikrofoontje ergens bij een groepje leerlingen te hangen, daar hoef je helemaal geen didaktikus voor te zijn. De kunst is alleen om dan ook echt een gesprek op de band te krijgen. Toen ik pas begon met les geven dacht ik dat de kunst was om je leerlingen stil te krijgen, maar later heb ik begrepen dat het de kunst is om ze aan het praten te krijgen. Vooral aan het praten met elkaar, omdat dat, vind ik, de meest wezenlijke onderwijssituatie is. Daarom hebben we de leerlingen de afgelopen jaren steeds laten werken in groepjes van drie of vier, en dan met vragen, opdrachten, praktikuminstructies en zo. Met als gevolg dat de leerlingen het gevoel kregen dat hun docent helemaal geen les meer gaf, maar alleen nog maar aanwezig was. En eigenlijk was ik daar wel trots op.

Door die manier van werken heb ik een verzameling van uitspraken van leerlingen kunnen aanleggen, vooral op het gebied waar ik probeer onderzoek te doen. Dat gebied is, en het blijkt een beetje uit de ondertitel van dit verhaal, het heen-en-weer-denken van leerlingen tussen de dingen die ze zien, de proeven die ze doen, de gewone verschijnselen dus aan de ene kant en de voorstellingen die je daarvan hebt op het moleculaire niveau aan de andere kant. U probeert dat waarschijnlijk in de tweede klas en wij doen dat bij scheikunde in de derde klas nog eens over. Bij ons levert dat de nodige moeilijkheden op en dat zal bij diezelfde leerlingen een jaar eerder ook wel het geval zijn geweest.

Een paar uitspraken van leerlingen wil ik even laten zien omdat ze ongeveer aangeven wat het thema van mijn verhaal is. Ik denk dat ieder van U er wel een paar eigen voorbeelden bij kan zetten, want uniek zijn ze helemaal niet:

1. De zuurstofmolekulen vliegen door de lucht.
2. Tussen de watermolekulen? Nou, gewoon water.
3. Elk watermolekuul dat bevriest, wordt een ijsmolekuul.
4. Al die gele molekulen bestaan uit zwavel.

Op zichzelf hebben zulke uitspraken vooral een wat anekdotisch karakter maar ik probeer wel eens er iets algemeen aan te ontdekken, waar je in het onderwijs wat aan kunt hebben. Waarom zeggen leerlingen nou juist zulke dingen en wat is er eigenlijk voor gemeenschappelijks aan?

Er was ook een groepje leerlingen met twee bekersglazen, één met koud water en één met heet water. Als je er een korreltje kaliumpermanganaat in laat vallen, dat is een diep-paarse stof, dan laat dat korreltje al vallend een paars spoor in het water achter. En in het hete water is dat spoor veel breder dan in het koude water. Het slijt meer af, zeggen de leerlingen en van mij mag dat dan. Het is al een stapje in de richting van de voorstelling dat de molekulen van dat hete water sneller bewegen en krachtiger tegen dat korreltje aanbotsen. Het verschil tussen heet en koud ligt dan op het moleculaire niveau in de snelheid van de molekulen.

Maar deze jongens hadden daar een eigen probleem bijbedacht: moet je nou, behalve dat die molekulen van dat hete water sneller bewegen, ook nog aannemen dat die zelfde molekulen bovendien nog heet zijn? Ik zou daar, zeker in die tijd, nooit op zijn gekomen maar, zoals ik zei, de vooruitgang komt van de leerlingen. Ze waren het er niet over eens en riepen mij erbij. En ik heb ze toen op het spoor gezet van: heb je dat nodig, dat ze bovendien nog heet zijn, om het verschil tussen heet en koud water te verklaren. Na enige discussie werden ze het erover eens dat die aanname overbodig was. Na de les las ik wat ze opgeschreven hadden:

- 5 . Molekulen van heet water bewegen sneller maar van binnen zijn ze gewoon koud.

Om iets meer over deze verzameling leerlingenuitspraken te kunnen zeggen wil ik een sprong maken naar de Griekse oudheid.

Het aardige van de eerste Grieken die, voorzover wij weten, begonnen na te denken over de natuur om hen heen, dat is dat ze niet begonnen met simpele proefjes uit de tweede klas, maar dat ze zich direkt de meest fundamentele vragen stelden die je maar kunt bedenken. Een eenvoudig experimentje van bijvoorbeeld slingers aan een boomtak en dan deslingertijden vergelijken, dat

hadden ze gemakkelijk kunnen doen. Maar nee, ze wilden meteen weten: bestaat het Niets? En wat is het Meest Wezenlijke in de wereld waarin wij leven? Nu was er in die dagen nog geen televisie, dus je kunt daar uren over praten, maar de boudheid waarmee ze zulke vragen durfden te stellen is iets om achteraf stil van te worden.

Wat de vraag naar het meest wezenlijke in de natuur betreft waren er twee stromingen. Een van die stromingen hield het erop, dat er eigenlijk maar één ding blijvend is in de wereld en dat is de verandering. *Panta rhei*, alles stroomt. De rivier stroomt, de boom groeit en zelfs een steen is op den duur niet bestand tegen de tand des tijds. Het enige dat blijft, is de verandering zelf.

Daartegenover stond de opvatting dat het juist andersom is. Onze zintuigen zijn niet altijd betrouwbaar, volgens die opvatting, en de veranderingen die ze ons tonen, zijn slechts schijn. In werkelijkheid verandert er niets in de wereld, er is nooit werkelijk iets veranderd en dat zal ook nooit gebeuren.

Tot die tweede stroming behoorde Demokritos, die tegenwoordig in bijna alle scheikundeboekjes wordt genoemd als de uitvinder van de atoomtheorie. Om vol te kunnen houden dat er eigenlijk niets veranderde, deed Demokritos één kleine concessie. Die concessie hield verband met zijn antwoord op de vraag naar het bestaan van het Niets. U kunt zich die discussie wel voorstellen: als het Niets bestaat, dan is er dus Iets dat Niets is en dat kan niet. Maar als het niet bestaat, hoe is het dan mogelijk erover te praten? Dan is het op z'n minst een gespreksonderwerp....

Demokritos verklaarde nu dat het Niets gelijkstond met de lege ruimte. En dat zich in die lege ruimte talloze uiterst kleine voorwerpjes bevonden, de atomen. Volgens Demokritos zijn de veranderingen die wij waarnemen niets anders dan verplaatsingen van atomen in de lege ruimte.

Verplaatsing dus als enig mogelijke verandering. Dat was de concessie die Demokritos deed. Maar omdat het hier een verplaatsing in de lege ruimte betrof, dus eigenlijk een verplaatsing in het Niets, vond hij dat dit niet werkelijk een verandering was.

Eigen teksten van Demokritos zijn niet of nauwelijks bewaard gebleven maar gelukkig is hij uitvoerig bestreden en hebben we van zijn tegenstanders wel teksten. Een van hen is Aristoteles.

Aristoteles geloofde wel in veranderingen. Hij vond dat ze in de natuur van de dingen liggen. Zoals een steen die je loslaat, naar beneden valt omdat stenen nou eenmaal op de grond behoren te liggen. Daar is geen verdere verklaring voor nodig.

Belangrijk voor ons is in dit verband de vraag naar wat eigenlijk verklaren is.

Als in het natuurkundeboek staat: De verklaring luidt als volgt, dan moet je je altijd afvragen: verklaring voor wie? Alleen voor wie zich een vraag heeft gesteld, voor wie zich verwonderd heeft. Ik denk dat wij onze leerlingen veel verklaringen aanbieden voor dingen waar ze helemaal niet verbaasd over zijn, en dat we veel van hun echte verklaringsbehoeften niet bevredigen. Aristoteles had helemaal geen behoefte aan een verklaring voor het vallen zoals Newton die heeft gegeven. Hij zou pas verbaasd zijn geweest als je de steen in de lucht neerlegt en die steen valt niet, hij blijft zweven. En daar is ook iets voor te zeggen. Het is maar waar je je vragen stelt.

We slaan een hele tijd over en komen terecht in de Middeleeuwen. Via het Arabisch kwamen de Griekse teksten in het Latijn langzaam weer beschikbaar in Europa. Ze werden ook al voor de Renaissance ijverig bestudeerd.

Maar de vertalingen hadden de toch al vaak wat wazige uitspraken er niet duidelijker op gemaakt. Van een dezelfde tekst waren verschillende, soms tegenstrijdige interpretaties in omloop. Er waren brede marges en dat had het voordeel dat allerlei nieuwe gezichtspunten die op de een of andere manier met de Grieken in verband konden worden gebracht, daardoor toch serieus werden genomen. Randvoorwaarde hierbij was de goedkeuring van de kerk.

Wat onze hoofdpersonen betreft, was de toestand duidelijk: Demokritos was door de kerk verboden, Aristoteles daarentegen kon geen kwaad doen.

Het bezwaar van de kerk tegen Demokritos was dat zijn atoomtheorie materialistisch was. Demokritos had beweerd dat alles uit atomen bestaat, zelfs de menselijke ziel. De kerk had daar onoverkomelijke bezwaren tegen. Zelfs het feit dat Demokritos van die ziel nog iets heel bijzonders had gemaakt, hij had n.l. verklaard dat de ziel uit heel mooie, gladde en ronde atomen bestond, zelfs dat kon de Middeleeuwse kerkelijke autoriteiten niet vermurwen. De atoomtheorie van Demokritos en alles wat daarop leek mocht niet openlijk worden aangehangen. Aristoteles was in. Alle opvattingen waarvan aannemelijk kon worden gemaakt dat ze van Aristoteles afkomstig waren, of door hem zo waren bedoeld, konden door de beugel.

Nu was de opvatting dat materie uit kleinste deeltjes bestaat ook in die dagen erg verleidelijk. Voortschrijdende ervaring met fysische en chemische processen creëerde een behoefte aan een soort atoomtheorie. Helaas had Aristoteles geen goed woord gezegd over kleinste deeltjes. Of toch? Ergens in een overigens onbelangrijke passage schijnt iets te staan over een kleine hoeveelheid spierweefsel die bij verdere verdeling geen spierweefsel meer is. Ongeveer zoals je een regenworm wel in tweeën kunt snijden en dan met een beetje geluk twee regenwormen hebt, maar niet in twintig stukjes, dan heb je geen twintig regenwormen. Er is dus een ondergrens.

Dat idee van die ondergrens bleek bijzonder bruikbaar. Hoewel Aristoteles niet heeft gerept over een ondergrens aan zaken uit de dode natuur, werd er in zijn naam steeds meer beweerd dat daarop neerkwam. Zo zou er een ondergrens zijn bij vuur en iedereen die wel eens in een uitdovend houtvuur heeft zitten kijken, weet dat zo'n vlammetje geleidelijk kleiner kan worden en dan, ineens, uitdooft. Dat geldt ook voor vonkjes en het heeft, in onze opvattingen te maken met de ongunstiger wordende verhouding tussen oppervlak (warmteverlies) en volume (warmteproductie) in de kleiner wordende vlam. Maar je kunt er ook een ondergrens in zien.

Van vuur naar water is maar een kleine stap. En bij water is er een opvallende neiging om in druppels voor te komen. Er zijn weliswaar grote en kleine druppels, maar geen halve druppels. Zo kwam men tot de opvatting dat er voor alles een ondergrens is, een kleinste portie die nog kan bestaan en men noemde die kleinste porties de minima naturalia, natuurlijke minima.

De volgende stap was dat je die minima niet alleen als zelfstandige kleinste hoeveelheden aannam, maar dat je ook veronderstelde dat een groot vuur eigenlijk uit heel veel kleinste vlammetjes bestond. En een grote plas water eigenlijk uit allemaal kleine druppeltjes. Dat is een manier om naar je omgeving te kijken, een stukje netwerk dat je er over heen kunt leggen. Fysische en chemische processen werden toegeschreven aan de inwerking van de minima naturalia op elkaar. Op één punt verschillen deze minima heel duidelijk van de atomen van Demokritos. Dat was men zich in die tijd ook bewust en het was de reden waarom de minima wel door de kerk werden geaccepteerd en de atomen niet. Dat verschil is dat de minima altijd nog hele kleine porties stof zijn en geen dingetjes. Een natuurlijk minimum van water is nog altijd een druppeltje water en als je het afkoelt, dan bevriest dat druppeltje. Terwijl de atomen van Demokritos dan niet bevriezen maar hoogstens ophouden zich te verplaatsen. Dat verschil is heel principiëel. Daarmee is de kring rond want nu komen we weer bij onze leerlingen terecht. Als we bijvoorbeeld kijken naar de uitspraken (3) en (4) van zonet, dan zijn dat eigenlijk de Middeleeuwse minima, waar die leerlingen over praten.

Eigenlijk heb ik daaraan de titel van dit verhaal ontleend: de kleinkinderen van Aristoteles, dan zijn onze leerlingen. Niet helemaal eerlijk tegenover Aristoteles want, zoals ik zopas heb verteld, Aristoteles heeft niet zelf deze ideeën geformuleerd. Ze zijn hem in de Middeleeuwen in de schoenen geschoven.

De uitspraken (1) en (2) zijn van een ander type. Daar zit de lucht tussen de molekulen en het water zit ook tussen de watermolekulen. Ook de molekulen van (5) die van binnen gewoon koud zijn, horen bij een wat ander type. Om het verband met de Middeleeuwse minima te zien hebben wij een iets breder kader nodig.

Als je tegen een chemicus zegt "aceton" dan denkt hij tegelijkertijd aan een kleurloze vloeistof en aan de moleculaire structuur: CH_3COCH_3 . Dat is voor hem één geheel, maar het begrip vloeistof behoort tot de makroskopische wereld van de verschijnselen die wij waarnemen en de moleculaire structuur hoort bij de mikrowereld. Zo behoort ons begrip temperatuur op het verschijnselniveau bij beweging op het moleculaire niveau. Zuivere stof behoort bij het begrip "allemaal identieke molekulen" enz.

Temperatuur en moleculaire bewegingen zijn niet hetzelfde, maar het zijn begrippen uit de makro- en de mikrowereld die met elkaar korresponderen. Zoals het verschijnsel optische activiteit korrespondeert met asymmetrie (chiraliteit) op het moleculaire niveau.

Wat wij nu van onze leerlingen verwachten is dat ze leren vlot heen-en-weer te denken tussen die twee werelden, tussen wat je ziet en de moleculaire voorstelling daarvan. Maar - en nu komen we bij Piaget - de moleculaire wereld is voor leerlingen niet zomaar toegankelijk. Om echt in die moleculaire wereld te kunnen denken en redeneren, daarvoor is nodig dat je het formeel-operationele niveau van Piaget hebt bereikt. De moleculaire wereld is namelijk niet een deel van onze eigen ervaring, het is een wereld die niet rechtstreeks controleerbaar is. Uitgangspunt van iedere redenering over molekulen is een hypothese, of liever een heel stel samenhangende hypothesen en redeneren vanuit een hypothetisch uitgangspunt vereist altijd formeel operationeel denkwerk. Dat geldt in wezen overal waar je modellen gebruikt; een model is iets anders dan een feit. Wanneer we nu onze leerlingen onder druk zetten om toch zo'n moleculaire voorstelling op te bouwen, en ze hebben dat formele niveau van Piaget nog niet bereikt, dan dwingen we ze om noodgrepen toe te passen. En een belangrijke noodgreep bestaat hieruit dat je termen die je op het makroskopische niveau goed beheerst, dat je die meesmokkelt naar de mikrowereld, met betekenis en al. Dat geldt voor de Middeleeuwse opvatting van de minima, waar het hele begrip stof, met alle eigenschappen op het mikro-niveau blijft bestaan.

Het geldt ook voor de leerlingen die wel de bewegende molekulen hebben aanvaard maar daarnaast, tegelijkertijd ook begrippen als stof en temperatuur willen behouden. Dan vliegen de zuurstofmolekulen door de lucht en dan zit er nog water tussen de watermolekulen. En dan zijn de molekulen van binnen ook nog heet of koud.

We hebben groepjes leerlingen gevraagd een stukje kamfer te wegen en tien minuten later nog eens. Dan is het al iets lichter. En de vraag was: zou die gewichtsvermindering iets met de kamfergeur te maken hebben?

De meeste groepjes dachten van wel maar als daarbij over molekulen werd gepraat dan kwam er soms iets merkwaardigs uit. Veel leerlingen menen n.l. dat je de kamfermolekulen, na het verdampen al kunt ruiken wanneer ze eenvoudig dicht langs je neus passeren. Dan ruik je ze in het langskomen. Het idee dat die molekulen ook werkelijk in je neus doordringen is blijkbaar moeilijk aanvaardbaar. Die kamfermolekulen hebben dus, net als een groot blok kamfer, een geur om zich heen hangen. Het begrip geur is eenvoudig vanuit de makrowereld meege-smokkeld naar de moleculaire voorstelling. Die leerlingen praten over molekulen maar bedoelen minima.

Nou kun je natuurlijk gaan vragen waarom het eigenlijk zo noodzakelijk is, dat die leerlingen met molekulen in plaats van minima leren omgaan. Wat is het nut van molekulen? Om dat onder woorden te kunnen brengen moeten we een ontmoeting van Demokritos met Piaget organiseren.

Demokritos probeerde met zijn atoomtheorie de veranderingen in de wereld weg te verklaren. In zijn systeem heerst een soort universeel behoudsprincipe. En Piaget beschrijft hoe heel kleine kinderen in de wereld om hen heen allerlei behoudsprincipes leren hanteren. Ik noem er een paar.

Als een baby een bal ziet rollen die achter een kussen verdwijnt, dan is die baby al op erg jonge leeftijd in staat om te verwachten dat die bal aan de andere kant van achter dat kussen weer tevoorschijn zal komen. Nog voor het kind kan praten zie je dat al aan de oogbewegingen en aan uitingen van ongeduld als de bal niet verschijnt. Piaget noemt dat het objektbehoud, en het objekt is dan de bal. Voor het kind bestaat die bal nog, ook wanneer hij niet zichtbaar is. Het objektbehoud zit heel diep in ons en dat verklaart waarom wij zo geboeid naar goochelaars kijken, die ons uitdagen om dat objektbehoud te controleren.

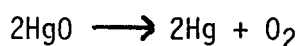
Andere behoudsprincipes die jonge kinderen ontwikkelen zijn bijvoorbeeld het behoud van de driedimensionale vorm, als een voorwerp door kantelen een ander beeld op het netvlies werpt, en het behoud van grootte wanneer het voorwerp zich verwijdert en daardoor een kleiner netvliesbeeld veroorzaakt. Dan is er het behoud van een aantal: zeven steentjes in een doos, schudden en weer kijken. En ja hoor, weer zeven. De beroemdste proef van Piaget is misschien wel die met een hoog, smal bekerglas en een breed, wijd bekerglas. Schenk je een hoeveelheid water heen en weer dan denken jonge kinderen dat dat water in het smalle glas meer is dan in het wijde glas. Vanaf een bepaalde leeftijd zegt een kind echter dat het evenveel is. Niet omdat dat kind beter heeft leren schatten maar omdat het een behoudsprincipe is gaan hanteren: het is hetzelfde water, dus het moet evenveel zijn. Dat is het behoud van hoeveelheid.

Het is erg leuk, als je de mogelijkheid hebt, om zelf eens met kinderen zulke Piaget-experimentjes te doen. Dan blijkt dat zelfs kleine kinderen verdraaid veel van Piaget weten. Of andersom, natuurlijk.

Wat is nu voor zo'n kind het nut van al die behoudsprincipes? Ik denk dat het iets te maken heeft met de berekenbaarheid, de voorspelbaarheid van je omgeving. Dat kon wel eens een voorwaarde zijn om je veilig te voelen, het besef dat eenmaal opgedane ervaring waarde blijft behouden in de toekomst. De dingen blijven zoals ze zijn.

De charme van de atoomtheorie van Demokritos en ook van latere theorieën, zoals die van Dalton bestaat dan uit de mogelijkheid om in principe allerlei veranderingen te kunnen reduceren tot niet meer dan verplaatsingen van deeltjes.

Wanneer ik een oranje rood poeder in een reageerbuis ga verhitten en dat poeder verdwijnt, en hogerop in de buis verschijnen druppeltjes metaal en er is ook een kleurloos gas ontstaan, dan maakt dat de indruk van een tamelijk willekeurige verandering die net zo goed anders had kunnen verlopen. Maar als ik kan schrijven:



dan heb ik laten zien dat er alleen een verplaatsing van atomen is opgetreden. Het is "niets anders dan", de verandering is wegverklaard.

Maar het charmante van deze theorie is alleen weggelegd voor wie dat formeel-operationele niveau beheerst. Die kan, door een verdere verfijning van het atoommodel steeds meer verschijnselen verklaren. En wij gunnen onze leerlingen zo graag dat ze daar ook van profiteren. Daarom willen we dat ze in molekulen en atomen leren denken. Maar ieder van ons die dat wil kan in de tweede en derde klas konstateren hoe moeilijk dat voor veel leerlingen is.

Diskussie

nav de lezing.

- Eeken : Ik heb een vraag over die minima. Zo'n uitspraak als "de molekulen vliegen door de lucht", ik heb niet helemaal begrepen of er bezwaren tegen zijn om dat als leraar zelf te gaan zeggen.
- De Vos : Ik doe het zelf nooit, maar ik respekteer wel dat de leerlingen dat soort dingen zeggen. Alleen als die manier van spreken tot problemen leidt, stel ik het aan de orde. Het is een algemeen probleem, overal waar je in het onderwijs met modellen werkt. Een model vereist altijd formeel denken. Daarom aarzel ik ook met plastic bolletjes of fietskogeltjes die molekulen moeten voorstellen. Dat zijn modellen van modellen want de molekulen zijn al een modelvoorstelling van de materie. Dan vraag je dubbel formeel denken, eerst van groot naar klein en dan weer terug.
- Meurs : Als je toch zegt dat de molekulen van vloeistof zich vrij door de vloeistof kunnen bewegen, dan zeg je toch precies hetzelfde als dat de molekulen van lucht zich vrij door de lucht kunnen bewegen? Moeten we dan niet meer zeggen dat de molekulen van een vloeistof zich vrij door de vloeistof bewegen?
- De Vos : Dat bewijst inderdaad hoe voorzichtig je moet zijn met formuleren. Een leerling kan onmiddellijk de indruk krijgen dat tussen die vloeistofmolekulen nog de vloeistof zit. Met die formulering lok je dat uit.
- Meurs : Ik denk dat als die leerling zegt "door de lucht" dat hij dan gewoon de ruimte bedoelt en niet zozeer lucht als een mengsel van zuurstof, stikstof en zo.
- De Vos : Waarschijnlijk zijn die leerlingen zich niet eens ervan bewust dat daar een onderscheid ligt, maar gebruiken ze het eenvoudig als één begrip. Misschien zouden ze het onderscheid ontdekken als je er op door ging vragen.

Leren met en leren van het PLON

P.G. Hogenbirk en R.F.A. Wierstra



Algemene inleiding

Op het eerste gezicht is de titel van dit verhaal wel helder, maar met het gebruik van voorzetsels in het Nederlands weet je maar nooit, dus toch enige uitleg.

Het PLON heeft in de ruim tien jaar, dat het bezig is met leerpakketontwikkeling een grote hoeveelheid lesmateriaal gemaakt en een visie ontwikkeld op gewenste leeractiviteiten en leerdoelen.

De bedoeling van deze voordracht is om die visie en dat lesmateriaal te bekijken vanuit het gezichtspunt: Hoe leren leerlingen? Wel, dat doen ze dus *met* PLON-materiaal. Maar een vernieuwingsproject heeft ook de verantwoordelijkheid om de resultaten, goed of slecht, van de vernieuwingen te evalueren en bekend te maken. Wij, die bezig zijn, in welk verband dan ook, met natuurkunde-onderwijs, kunnen dan wat leren *van* het PLON-project.

Dit verhaal zal dezelfde tweedeling vertonen. In het eerste gedeelte gaat het om signaleren uit meer gebruikelijk natuurkunde-onderwijs, die een leraar de keus kunnen laten maken om op een andere manier zijn natuurkunde-lessen te gaan geven.

Vervolgens worden die kenmerken beschreven, die te maken hebben met dat leren van leerlingen met PLON-materiaal. Ook zullen enkele voorbeelden en ervaringen de revue passeren. In het tweede gedeelte zal een wat meer leertheoretische onderbouwing van de genoemde kenmerken worden gegeven en zullen, vanuit het onderzoeksproject van het PLON, enige nieuwe evaluatie-resultaten worden gepresenteerd, die de ervaringen met het materiaal bij grotere groepen leerlingen en leraren beschrijven.

Doordat ik me specifiek richt op onderwijsleersituaties met PLON, wil ik beginnen een paar ervaringen, die ik heb met de meer gebruikelijke manier van natuurkunde-onderwijs, op een rij te zetten. Ik doe dat omdat het dit soort ervaringen waren, die mij de overtuiging gaven en geven, dat leren met PLON gebaseerd is op een aantal goede uitgangspunten.

Ook omdat het de kenmerken, die ik straks zal schetsen, wat helderder en contrastrijker maakt.

Signalen

Het niveau waarop en de taal waarin we praten is vaak te moeilijk voor leerlingen.

Eén geval dat zeer frustrerend was is het idee dat je "tegen de banken" staat te praten. Een klas, die doodstil was, daar was pas iets mis, daar werd eigenlijk

niet geluisterd.

Wanneer kwam die aandacht wel: als er iets schokkends gebeurde: een experiment dat wel of niet lukte, een voorval buiten of een met stoel en al omvallende leerling binnen. Aandacht kwam er ook als je leerlingen bij het lesgebeuren betrok door ze naar hun ervaringen te vragen, te vragen naar hun oplossing van een probleem, kortom door een actief gedrag van ze te vragen. Maar ik zie die blikken weer die op oneindig gaan als ik weer eens een te lange en ingewikkelde zin produceerde, als ik de maximale dikte van een laagje molekulen ging uitrekenen en als ik de prachtige wet van behoud en energie "bewees".

En zo vaak heb ik het idee, dat ze eigenlijk voor het grootste deel maar zo weinig van die formules snappen, dat het te vaak beperkt blijft tot het toepassen van een truc of een standaardmethode en dat het echte inzicht ontbreekt.

Het ontbreken van toepassingen en van het grotere verband bemoeilijkt het leren en demotiveert.

Kreeg ik niet als hospitant te horen van de klas waar ik les gaf, dat ik het wel redelijk deed, maar dat ze liever hun eigen leraar hadden want die gaf meer voorbeelden, toepassingen.

De aanleersituatie of de ervaring staan soms los van de te verkrijgen kennis. Vaak zijn het de omstandigheden waaronder een gebeurtenis plaats vindt, die we onthouden en niet wat er dan te leren was. Ik herinner me dat mijn eigen natuurkundeleraar met een gezicht van "dit durf ik voor jullie" wat bloed uit een van zijn verweerde vingers probeerde te tappen. Waar hij dat bloed voor nodig had, ik kan het me met de beste wil van de wereld niet meer herinneren. Een voorbeeld waar dat beter gebeurt las ik in de terugblik van een vrouw op haar schooltijd in de N.R.C.:

"het R.K. lyceum, (.....), waar de natuurkunde-non demonstreerde hoe de elektrische machine werkte door de hele klas onverwachts een schok toe te dienen" (bekend voor lezers van de PLON-krant) Ik denk dat we hier met de eerste PLON-non te maken hebben!

In een grotere groep wordt voornamelijk geleerd van de leraar.

En dan het gevoel dat je het leerlingen zo onmogelijk maakt om van elkaar wat op te steken: het frontale lesgeven is gewoonte en het klasseleergesprek is nog steeds een van de moeilijkst te hanteren didactische werkvormen.

Op grond van dit soort ervaringen, zowel positieve als negatieve signalen, stap je PLON binnen, niet als door een logisch automatisme, maar op grond van ver-

wachtingen. Daarbij wil ik benadrukken dat de overtuiging waarmee ik hier over deze zaken kan praten een gevolg is van een groeiproces, dat je als leraar door- maakt; ook de leraar leert met PLON en van zijn leerlingen!

Kenmerken van het PLON

- I Het leren gebeurt op basis van *onderzoekjes*.
- II Kennis en vaardigheden functioneren binnen een herkenbare *context*.
- III Kwantificering en formalisering volgen pas nadat er een goed inzicht is verkregen in *kwalitatieve relaties en begrippen*.
- IV Leerlingen kunnen *van elkaar leren*, als ze werken in kleine groepen.
- V Leerlingen *vertellen aan elkaar* over hetgeen ze geleerd (denken te) hebben.

Ik zal deze vijf kenmerken van het leren met PLON nader beschrijven en illustre- ren met een aantal voorbeelden.

I Onderzoekend leren

Onderzoeken leren is leren dat voortkomt uit het opdoen van ervaringen, waarbij een eigen, *aktieve rol* van de leerlingen wordt gevraagd. Veelal bestaat deze rol uit het uitvoeren van onderzoekjes, experimenten, maar ook het uitwerken van opdrachten, het leren van een leestekst of het kijken naar een film. Ervaringen die dus met *zien* te maken hebben of met *horen/luisteren* of met *voelen* of met *lezen* en *praten*.

Noodzakelijk voor dit onderzoekend leren is een bepaalde mate van *differentiatie*, die groter is naarmate je meer recht wilt doen aan de individuele verschillen in leerstijlen van kinderen.

Essentieel is denk ik ook een element van *verrassing* in de ervaring en voor mijn gevoel zijn een demonstratieexperiment (zie de PLON-non) of een uitdagende rekenopgave ook op z'n tijd goede bronnen.

Een paar voorbeelden: *uit de onderbouw*

- het natuurkundige verschijnsel Bernouilli-effekt via het geruis van de stof- zuiger, het wippen van de pingpongbal en het voelen van de luchtstroom geven een indringende ervaring aan een groepje leerlingen. Je realiseert die erva- ring gewoon minder goed als je dat voor de klas zou voordoen.
- geen ervaring is zo in mijn geheugen gegrift als de groepjes leerlingen, die, elk jaar weer, met groot geduld, gemengd met ongeloof, een punaise óp het water proberen te leggen. De gezichten als dat eindelijk lukt spreken voor zich.

Uit de bovenbouw

- een meting van het rendement van een fietsdynamo, waarmee leerlingen een veel betere basiservaring krijgen over het begrip rendement, dan wanneer dat slechts in een formule zou zijn gepresenteerd.

Mits leerlingen een goeie proef krijgen te doen, waar iets aan te "beleven" valt en die een duidelijk doel heeft, zie ik dat de betrokkenheid bij de lessen toeneemt. Lang daarna kun je bovendien terugvallen op dergelijke ervaringen.

II Leren binnen contexten

Het brengt ons op de context waarbinnen inhoud en vaardigheden zijn geplaatst in PLON-thema's. "Context" is hier bedoeld als een samenhangend onderdeel van de samenleving of leefomgeving.

Voor de behandeling in de natuurkundeles is natuurlijk essentieel dat er in dat onderdeel natuurkundige aspecten zitten. Maar tegelijkertijd moet het verband met de andere aspecten uit de gekozen context kunnen worden gelegd, technische aspecten, maatschappelijke factoren enz.

Waarom wil je dat?

Allereerst is de veronderstelling dat het uiteindelijke *leereffekt* vergroot wordt, ook al omdat de *betrokkenheid* groter zou worden.

Ten tweede heeft het natuurlijk alles te maken met een visie op "wat" leerlingen met geleerde kennis en vaardigheden moeten kunnen. D.w.z. dat ze zich moeten kunnen redden in een steeds complexer wordende samenleving. Ze lopen tegen problemen op en verzeilen in situaties waarin ze zich moeten kunnen redden op grond van hun ervaring met soortgelijke problemen en situaties. Het moeilijkste is het om die contexten te kiezen, waarin je de natuurkunde het meest *functioneel* kunt maken, maar die tegelijkertijd voldoen aan criteria als relevant, aktueel, frequent voorkomend e.d. Vooral de relevantie levert veel discussie: relevant voor vervolgopleidingen? Of relevant voor het participeren in de maatschappij als mondige burger? Of relevant voor je hobby's en interesses? Of relevant voor logisch denken en de natuurkunde als schematisch bouwwerk.

Een voorbeeld uit de onderbouw:

- Het werken met krachten, meten en tekenen is alleen zinnig als je eerst hebt gekonstateerd dat ze in *bruggen* en andere konstrukties een grote rol spelen. Het verhoogt de esthetische waardering voor bruggen en het helpt je misschien ook bij het repareren van een oude huishoudtrap.

Een ander voorbeeld uit de bovenbouw:

- Centrale vragen bij een thema als *weersveranderingen*, dat voor 4H op stapel staat, zijn:

- . in hoeverre verandert het weer en welke factoren spelen daarin een rol?
- . hoe komt een weersvoorspelling tot stand en hoe betrouwbaar is die?
- . hoe kunnen menselijke activiteiten (gewild of ongewild) het weer beïnvloeden?

Een leerling loopt hier dagelijks tegenaan of bij een enkele vraag is er sprake van bewustwording van een probleem dat bestaat.

Mijn ervaring is dat dit leren in contexten de betrokkenheid van leerlingen vergroot, mits ze voldoende het gevoel hebben toch nieuwe dingen te "leren" of dat ze horen dat de natuurkundige werkelijkheid anders is dan wat ze al wisten.

III Van kwalitatief naar kwantitatief

Het is dit aspect dat vaak met argusogen door velen bekeken wordt. Nergens raak je ook zo aan een traditie in de natuurkunde als juist hier. Door sommigen genoemd: "de culturele waarde van een geformaliseerde beschrijving van verschijnselen en wetmatigheden". Voor de duidelijkheid: de bedoeling van het kwalitatieve beschrijven is nooit om het rekenen of de formele beschrijvingen af te schaffen, maar juist om het inzicht in relaties en begrippen te verhogen.

Voor een stapsgewijze opbouw van kwalitatief naar kwantitatief zijn zowel in de leerpsychologische als vakdidactische literatuur veel argumenten aangedragen. Ik wil daar nu niet op ingaan, maar liever kijken hoe een en ander in PLON-thema's is uitgewerkt. We moeten daarbij onderscheid maken tussen onderbouw en bovenbouw.

- Het uitrekenen van het produkt $p \times V$ in de 2e klas met als doel te "bewijzen" dat p en V omgekeerd evenredig zijn, heeft naar mijn gevoel geen zin. In dit stadium moet je leerlingen nog niet lastig vallen met de formule, het *belemmert* hen greep te krijgen op de werkelijke relatie die je probeert te beschrijven.

M.b.v. een fietspomp kan beter een kwalitatieve tot semi-kwantitatieve beschrijving gezocht worden van het verband tussen druk en volume.

- Een formule als de wet van Ohm wordt gebruikt eerder als een *rekenregel* dan als de weerslag van een recht evenredig verband tussen spanning en stroom.

Voor de bovenbouw geldt nog steeds dat het proces van kwalitatief naar kwantitatief moet worden doorlopen om inzicht te krijgen in het formalisme. Alleen zal dit proces steeds sneller kunnen gaan. Maar ook hier komen (soms zeer ingewikkelde) formules voor als "gebruiksregels", juist ook omdat de keuze voor leren in contexten eenvoudige formules vaak ontoereikend maakt.

IV Werken in groepen

De werkvorm "werken in groepen" heeft 3 aspecten, waarvan er één met natuurkunde leren te maken heeft. Natuurlijk is het werken in groepen een *organisatievorm*,

die het mogelijk maakt om onderzoekend te leren en om leerlingen te laten bezig zijn met voor hen levende vragen, waarover we het in het kader van de contexten al gehad hebben. Niet alle leerlingen zullen immers, juist i.v.m. individuele interessen, situatie en toekomstperspektief, met dezelfde zaken bezig willen zijn: gedifferentieerd werken eist een organiserende werkvorm à la groepwerk. Een tweede reden is dat groepswerk *sociale vaardigheden* bevordert, het maakt aan de leerling zijn persoonlijk functioneren duidelijker en het is een goede afspiegeling van de manier waarop onderzoek in teamverband "in het echt" wordt gedaan.

Maar in het kader van deze lezing is groepswerk ook de voorwaarde voor het *leren van elkaar door de konfrontatie* met de ander, de dwang om samen tot prestaties te komen en de eigen vooruitgang te kunnen toetsen aan de mening en waardering van de andere groepsleden.

Een voorbeeld:

- Laatst kwam in in de trein een meisje tegen dat 4 jaar geleden bij mij in 3H PLON-natuurkunde heeft gedaan. Ze dacht met plezier terug aan de PLON-natuurkunde en kon zich met name nog herinneren hoe ze in één groep met haar steengoede vriendin tot grote prestaties was gekomen.

Rapporteren aan elkaar

Nauw gekoppeld aan het voorafgaande is het kenmerk van de PLON-kursus dat leerlingen *aan* elkaar leren, middels rapportages aan elkaar over de eigen onderzoeken. Ook hier spelen andere doelen zoals het aanbrengen van *vaardigheden* als taakverdelen, duidelijk uitleggen, structureren e.d. Maar rapporteren heeft ook de functie dat het de rapporteurs dwingt onder woorden te brengen wat ze geleerd hebben tegenover een *kritisch* publiek en dat het de luisteraars dwingt te leren van de ervaringen van *anderen*. Hier komt de gezamenlijke *klasseverantwoordelijkheid* natuurlijk om de hoek kijken.

Eén ervaring wat dit betreft was een rapportagevorm bij een thema over elektrische machines in 4H: een aantal groepen (zeg A) hadden onderzoek gedaan aan transformatoren, een aantal anderen (zeg B) aan dynamo's. Na het onderzoek werden de groepen gesplitst en een helft van de groep A gevoegd bij een helft van een groep B, waarna in deze nieuwe groepen aan elkaar moest worden verslaggegeven. De meeste vragen uit de nieuwe groepen kwamen van leerlingen over hun eigen onderwerp. Het rapporteren daarover had ze aan het denken gezet.

Ik heb geprobeerd een beschrijving te geven van de kenmerken van een m.i. wezenlijk andere manier van het leren van natuurkunde. Graag wil ik daaraan nog toevoegen, dat je een dergelijke keuze voor het leren van leerlingen niet direkt volledig overziet. Het is een groeiproces, waarin de leraar misschien nog wel degene is die het meeste heeft geleerd!

II. ENKELE LEERTHEORETISCHE NOTITIES EN ONDERZOEKSGEGEVENS MET BETREKKING TOT HET PLON-CURRICULUM ¹⁾

1. Inleiding

In dit praatje wil ik proberen wat (leer-)theoretische opmerkingen te maken bij twee kenmerken van het PLON-curriculum, te weten "leren in contexten" en "onderzoekend leren". Wat u zich bij deze kenmerken zoal moet voorstellen, zal duidelijk geworden zijn uit de voordracht van Pieter Hogenbirk.

Bij het beschouwen van deze twee kenmerken, zal ik in vergelijking met de andere referaten op deze conferentie wat meer aansluiten bij *geheugen* theorieën en theorieën over *cognitieve processen*; daarmee bedoel ik theorieën over hoe mensen informatie opnemen, deze opslaan in het geheugen en uit dit geheugen ook weer "terugvinden". Verder zal ik wat meer stilstaan bij de rol van *motivatie* in het leerproces. Motivatie en de invloed daarvan op het *leren* zijn voor mijn gevoel wat onderbelicht op deze conferentiedagen. Ik ben van mening dat we in onderwijsvernieuwingen moeten trachten om zoveel mogelijk (maar niet ten koste van alles) de (intrinsiek) motiverende waarde van de leerinhouden en de leeractiviteiten te verhogen²⁾; ik zeg dit niet alleen omdat dit zo leuk is voor leerlingen (al mag onderwijs natuurlijk best leuk zijn), maar omdat een bepaald minimum niveau van leerlingmotivatie noodzakelijk is om werkelijk iets te kunnen leren en omdat we de leerlingen steeds minder op hun extrinsieke motivatie kunnen aanspreken (door afnemende werkgelegenheid en andere factoren). In het tweede deel van mijn verhaal zal ik kort ingaan op enkele eigen onderzoeken die we in het PLON hebben uitgevoerd. Het gaat hier om onderzoek naar ervaringen van leraren met PLON-materiaal en naar belevingen en leereffecten bij leerlingen. Een gedeelte van dit onderzoek hebben we in samenwerking met anderen gedaan, zoals het CITO en enkele instituten voor onderwijskundig onderzoek.

Ik zal vooral die onderzoeken kiezen die iets te maken hebben met het theoretische model uit het eerste deel van mijn verhaal.

2. Leertheoretische kanttekeningen bij "leren in contexten" en "onderzoekend leren"

Op grond van de leerspsychologische en vakdidactische literatuur kunnen we een aantal positieve effecten formuleren van de twee principes "leren in contexten" en "onderzoekend leren". Ik beperk me in eerste instantie tot drie belangrijke effecten, die voor beide principes opgaan (en dus versterkt worden als de twee principes beide in het curriculum aandacht krijgen).

Hier komen ze:

1. De leerlingen zullen beter in staat zijn de opgedane kennis *toe te passen* in een leefwereld- en omgevingscontext.
2. Nieuw aangeleerde kennis zal beter *verankerd* worden in het geheugen en beter *geïntegreerd* worden met andere, verwante kennis, die daar reeds is opgeslagen.
3. De leerlingen werken meer *gemotiveerd*. Deze motivatie (betrokkenheid) heeft een positieve invloed op het leren. Er is sprake van tweeërlei invloed. In de eerste plaats geldt dat er door de leerling meer wordt opgenomen in de leersituatie (er is een intensievere informatie-verwerking). In de tweede plaats is er een grotere beschikbaarheid en "oproepbaarheid" van die informatie (kennis) in latere situaties - buiten de aanleersituatie - wanneer die kennis moet gaan functioneren³⁾.

We zullen deze punten nu één voor één bespreken. Daarbij zal blijken dat ze wel iets met elkaar te maken hebben.

ad 1 Toepassing van opgedane kennis in leefwereld- en omgevingscontexten

In het gangbare onderwijs wordt nogal eens kennis aangeleerd in een context die los staat van de context waarin die kennis later moet functioneren (zie noot 3 voor wat ik allemaal onder "functioneren" versta).

Voor onderbouw- en mavo-leerlingen is de leefwereld- en omgevingscontext misschien wel de functioneringscontext bij uitstek. Freudenthal⁴⁾ wijst op het belang van het gebruik van "rijke" contexten voor het wiskunde-onderwijs. Naar mijn mening geldt hetzelfde voor het natuurkunde-onderwijs. Er zijn tal van onderzoeken gedaan waaruit de suggestie naar voren komt dat de kennisopslag in "rijke" aanleercontexten wel eens heel anders kan zijn dan de kennisopslag in "arme" aanleercontexten. Uit die onderzoeken blijkt ook dat beheersing van de leerstof in arme⁵⁾ contexten (zoals dat in het gangbare binnen- en buitenlandse natuurkunde-onderwijs benadrukt wordt) nog geen garantie is voor goede toepassing van die kennis in rijke contexten. Dit kwam naar voren uit diverse buitenlandse onderzoeken⁶⁾. Zo bleek o.a. dat traditioneel opgeleide natuurkunde-studenten, wanneer het ging om verklaringen en voorspellingen van verschijnselen en situaties in het dagelijks leven, uitgingen van het tot Aristoteles teruggaande idee dat er voor een eenparige beweging een constante kracht nodig is. Deze studenten bleken wel vertrouwd met begrippen en denkschema's van de moderne mechanica (kracht, moment, impuls e.d.) en konden er mee overweg in arme contexten, maar bleken deze schema's niet te hanteren bij

verschijnselen uit het dagelijks leven ("to understand and predict real world phenomena"). Ik herinner u in dit verband ook nog eens aan de voordracht van Piet Lijnse op de vorige conferentie over het hardnekkige voortbestaan van voorschoolse beelden en begrippen (hij noemde het "straatbeelden").

In wezen zijn de hierboven beschreven verschijnselen te voorspellen uit leerpsychologisch onderzoek van de laatste 20 jaar. Zo valt uit de *steedscheiding* theorie van Van Parreren ⁷⁾ af te leiden dat wanneer je in de leersituatie de natuurkunde isoleert van de functioneringscontext (de context van de gebruikssituatie) dat dan de aangeleerde denkschema's nauwelijks zullen worden *opgeroepen* in de gebruikssituatie (als die wél worden opgeroepen, moet overigens dan nog maar afgewacht worden in hoeverre de leerling *vaardig* die schema's weet te hanteren). We zeggen nu dat er "steedscheiding" bij de leerling is opgetreden d.w.z. dat hij het systeem (de schema's) in de gebruikssituatie ten onrechte niet in relatie brengt met het systeem (de schema's) die in de aanleersituatie volop zijn ingeoeffend. Er is aangetoond dat het optreden van een dergelijke steedscheiding bij leerlingen niet (in de eerste plaats) een kwestie is van onvoldoende inzicht, onvoldoende intellectuele rijping of iets dergelijks. Het komt voor op alle niveau's van leerstofbeheersing en intellectuele ontwikkeling. Om steedscheiding bij leerlingen aan te pakken heeft het dan ook weinig zin om te proberen het niveau van formeel denken op te voeren. Constructiever lijkt het om de leersituatie zodanig te structureren dat steedscheiding zoveel mogelijk wordt tegengegaan (positiever geformuleerd: dat systeemintegratie bevorderd wordt). Uit onderzoekingen van Tulving en Thompson ⁸⁾ leren we dat het hiervoor niet voldoende is om incidenteel relaties tussen natuurkunde en leefwereld als toegift te geven, maar dat er in de leerstof en de leeractiviteiten *vraagstellingen* aan bod moeten komen die verwant zijn aan de (latere) "gebruiks"vraagstelling. Met deze bespreking van systeem-scheiding en systeemintegratie naderen we ons tweede punt.

ad 2 Verankering en integratie van kennis

Het leren in contexten

Het blijkt dat verwerking van nieuwe informatie vergemakkelijkt wordt wanneer in het onderwijs geprobeerd wordt om de *voorkennis* die leerlingen hebben, te activeren en in te zetten bij de verwerking van nieuwe informatie. Vaak denken we dat iemand niet zoveel meer leert als hij al veel voorkennis op een bepaald gebied heeft. Dit is onjuist. Zo bleek uit een onderzoek ⁹⁾ dat personen met veel kennis van honkbal veel beter in staat bleken informatie uit een tekst over honkbal te halen en deze te onthouden. Iemand die een redelijke hoeveel-

heid kennis op een bepaald gebied heeft, beschikt a.h.w. over een betere "voedingsbodem" voor opname van nieuwe informatie. De nieuwe informatie kan beter *verankerd* worden in het geheugen door integratie met oude kennis. Mayer¹⁰) leert ons dat deze betere verankering echter alleen optreedt als het onderwijs bewust probeert om bij die voorkennis aan te sluiten (ook bij intuïtieve voorkennis die op diverse punten onjuist is¹¹). In het traditionele onderwijs gebeurt dit weinig. Fensham¹²) stelt na een analyse van 20 science-curricula over de hele wereld: "no set of objectives was found that acknowledged that their learners have world views about the phenomena that were to be studied" (pag. 6). En enkele passages eerder:....."it is quite astonishing how much the prior "theories" or world views of the learners have been neglected". Een voordeel van het leren in contexten is nu dat per definitie bij voorkennis, namelijk bij voorschoolse kennis en ervaringen wordt aangesloten. Behalve dat dit de leerzaamheidservaring van leerlingen verhoogt (ik kom daar bij punt 3 op terug) wordt de kennis gemakkelijker verwerkt: het wordt gemakkelijker opgenomen, vastgehouden en "teruggevonden". Laten we een en ander illustreren aan het proces van "terugvinden van iets in het geheugen". Dit gebeurt niet altijd via een *systematisch* zoekproces. Dat kan ook niet, want de informatie is niet zo systematisch in ons geheugen opgeborgen als bijvoorbeeld in een archief. In plaats van over een systematisch geheugen, spreekt de denkpsycholoog Frijda bij voorkeur over een *associatief* geheugen; het is bijvoorbeeld niet mogelijk om een la "electrisch vermogen" in je geheugen open te trekken en alles op te zoeken (begrippen, regels, objecten), wat onder electrisch vermogen valt¹³). Ons geheugen werkt voor een groot deel associatief. Daarom dienen we niet al te zeer te vertrouwen op een formeel-definiërende aanbieding van begrippen en denkschema's aan de leerlingen, maar dienen we de begrippen vooral in te bedden in *gevarieerde* contexten die er mee *geassocieerd*¹⁴) (kunnen) zijn. Via dat associatieve netwerk is er dan een grote kans dat de passende geheugeninhoud - door associatie - op bewustzijnsniveau komt. Om nogmaals met Van Parreren te spreken: we moeten zorgen voor *meervoudige* systeeminbedding¹⁵) van regels en begrippen. Door deze meervoudige (d.w.z. niet één-, maar meersporige) inbedding wordt het terugvinden van kennis (in het dagelijks leven op het examen e.d.) bevorderd.

Onderzoekend leren

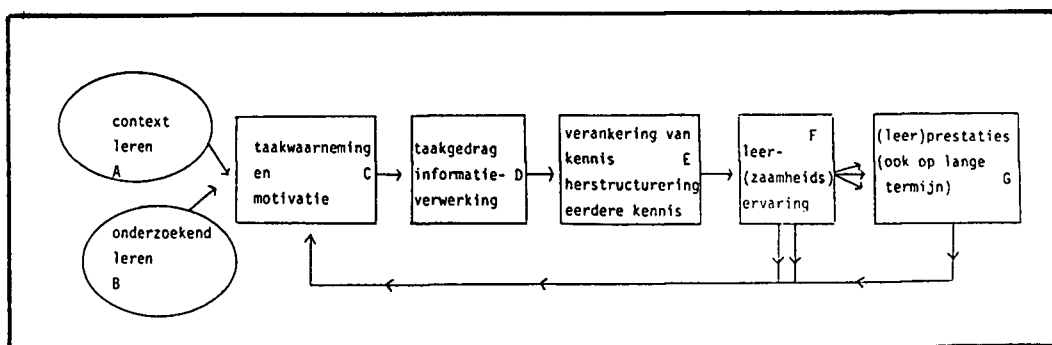
Het onderzoekend leren is in het PLON zo vorm gegeven dat leerlingen in de leer-situatie de leerstof actief verwerken via *meerdere* informatie-verwerkingssystemen. Pieter Hogenbirk sprak al over een gevarieerd scala aan ervaringen die te

maken hebben met zien, horen/luisteren, voelen, lezen en praten. Naast verbaal aangeboden kennis ontstaat er zo ook kennis die geworteld is in handelingen en ervaringen van leerlingen¹⁶). Dit is dan ook niet allen kennis van het type "ik heb geleerd dat....F = ma is", maar ook: "ik herinner me hoe (ik) in de les..... (bij de fietsproef.....) ontdekte dat.....¹⁷). Begrippen en regels worden zo in een netwerk van handelings- en ervaringskennis ingebed.

Een belangrijk voordeel van de gevarieerde wijze van kennisaanbieding is verder dat er aangesloten kan worden bij het ontwikkelingsniveau van onderbouw leerlingen en bij verschillen in leerstijl die leerlingen er op nahouden. Als een niet te verwaarlozen neveneffect van onderzoekend leren noemen we nog het feit dat leerlingen naast *inhoudelijke* kennis en wetmatigheden ook onderzoeksvaardigheden en houdingen aanleren. Verder op (par. 3) zullen we leraren en leerlingen daarover aan het woord laten.

ad 3 Betrokkenheid van leerlingen bij de lessen

Bij de voorgaande twee punten hebben we niet expliciet gesproken over de *affektieve* aspecten van context-leren en onderzoekend leren, aspecten die te maken hebben met het plezier en de overtuiging waarmee leerlingen zich aan de leertaken zetten. Wat valt hierover te zeggen en wat is de invloed daarvan op het leerproces? Ik denk dat context-leren en onderzoekend leren de leerling meer motiveert¹⁸) voor de leeractiviteiten (leertaken), o.a. omdat hij meer het gevoel heeft dat hij met iets bezig is wat voor hem betekenisvol is en waarbij (hij inschat dat) zijn inspanningen beloond worden en zullen resulteren in een stukje verrijking van zijn kennis- en ervaringswereld¹⁹). Door deze hogere motivatie vindt er een intensievere verwerking van informatie plaats. Er zijn echter nog andere wisselwerkingen tussen cognitieve en affectieve processen. Ik denk dat een aantal belangrijke interacties als volgt in een schema zijn onder te brengen.



De pijlen geven positieve causale relaties aan tussen de variabelen. Onder leer(zzaamheids)ervaringen versta ik de subjectieve ervaring van de leerling, dat hij iets geleerd heeft wat betekenisvol voor hem is, wat hem verrijkt. Merk op dat in dit theoretische model een terugkoppeling optreedt van F en G (vooral F) naar C. Dit betekent dat ervaringen van leerzaamheid een positieve invloed hebben op de motivatie in dezelfde of bij volgende leeractiviteiten²⁰). Dit model is in overeenstemming met de onderzoeksgegevens die we tot dusverre in het project verzameld hebben. In het tweede deel van mijn verhaal wil ik u ter illustratie enkele onderzoeksresultaten aanreiken en zal daarbij zoveel mogelijk het hier gepresenteerde model hanteren als "organiserend principe".

3. Enkele onderzoeksgegevens m.b.t. het PLON-curriculum

Ik wil u nu kort wat voorlopige resultaten noemen van onderzoek dat wij gedaan hebben naar de betrokkenheid van leerlingen en naar leereffecten die met het PLON curriculum bereikt kunnen worden. Ik zal daarbij exemplarisch putten uit de volgende drie onderzoeken:

- een onderzoek naar belevingen en leerprestaties van PLON leerlingen en Rijksleerplan leerlingen (totaal 345 leerlingen)
(*PLON-CITO onderzoek*)²¹)
- Interviews met 16 leraren (MAVO en HAVO-VWO onderbouw)
(*Vernieuwingskenmerken onderzoek*)²²)
- Vergelijkend onderzoek van H. Kuhlemeier hoe PLON leerlingen en regulier opgeleide leerlingen tegen de leeromgeving aankijken (totaal 564 leerlingen, 3-mavo)
(*Onderzoek van Kuhlemeier*)²³)

Dit zijn allemaal onderzoeken in MAVO- en HAVO-VWO onderbouw (het onderzoek in HAVO- en VWO bovenbouw is nog in volle gang). Cursief heb ik aangegeven hoe ik deze onderzoeken in mijn verhaal zal noemen, als ik er naar verwijs. In de literatuurlijst zijn de volledige titels van onderzoeken en publicaties opgenomen.

Betrokkenheid en ervaren leerzaamheid

Uit het theoretisch model van par. 2 zijn verschillende voorspellingen af te leiden. Enkele voorspellingen die in ons onderzoek geverifieerd zijn, luiden:
a. Er zullen hoge correlaties²⁴) zijn tussen de taakmotivatie (betrokkenheid^(C)) van de leerlingen en de ervaren leerzaamheid^(F).

- b. In klassen met relatief weinig context- en onderzoekend leren ^(A, B) zullen leerlingen minder betrokken ^(C) zijn bij de natuurkunde(-lessen) en deze als minder leerzaam ^(F) ervaren (als de overige omstandigheden gelijk zijn).
- c. Gevoelens van leerzaamheid ^(F) gaan meestal samen met een herstructurering van eerdere kennis ^(E). Leerlingen die het thema "Verkeer en Veiligheid" als zeer leerzaam ervaren, rapporteren in het onderzoek verrast te zijn door de ontdekking dat de krachten in het verkeer veel groter zijn dan zij dachten; zij begrijpen nu dat veiligheidsgordels de (gevaarlijke) krachten verkleinen: de grotere remweg zorgt voor een kleinere kracht.

We zullen nu op de stellingen a en b nader ingaan.

Stelling a stelt dat een leerling die erg betrokken is bij onderwerpen uit de natuurkundeles, de lessen ook als erg leerzaam zal ervaren (en omgekeerd). Deze bewering hebben we in het project keer op keer geverifieerd bij diverse onderzoeken naar het functioneren van PLON *thema's* (onderzoeken waarin de leerlingen vragenlijsten en interviews zijn afgenomen).

Ook voor de *cursus* als geheel werd de stelling bevestigd in het PLON-CITO onderzoek.

Stelling b heeft betrekking op de *sterkte* van de betrokkenheid en de ervaren leerzaamheid. Deze stelling is misschien het eenvoudigst te onderzoeken door in eerste instantie PLON klassen en klassen waar geen PLON materiaal gebruikt wordt, met elkaar te vergelijken. Het blijkt namelijk uit onderzoek dat Hans Kuhlemeier (op dit moment onderwijskundige op het CITO) voor ons heeft gedaan dat er beduidend meer onderzoekend leren in PLON klassen voorkomt dan in een a-selecte steekproef van controle-klassen. Ook mag gesteld worden dat er in traditioneel lesmateriaal minder context-leren voorkomt dan in PLON materiaal.

In samenwerking met het CITO hebben we nu een vergelijkend onderzoek gedaan bij MAVO leerlingen aan het eind van de 4e klas.

De resultaten op de vragenlijsten wijzen dan o.a. uit dat PLON leerlingen zich meer betrokken voelen bij de lessen en deze leerzamer vinden dan de controle-groep. In de moeilijkheidsbeleving bleek geen verschil tussen de 2 groepen. Wel zijn er sterke aanwijzingen dat de betrokkenheid van PLON leerlingen minder snel afneemt als het moeilijk wordt. Ook op *thema*-niveau wordt dit bevestigd. Sommige PLON *thema's* als "Electronica", "Verkeer en Veiligheid" behoren in de ogen van de leerlingen tot de moeilijkste *thema's*, maar zijn ook *thema's* die zeer grote betrokkenheid bij leerlingen oproepen.

Hieronder ziet u enkele voorbeelden van vragen die in het onderzoek gebruikt zijn:

Voorbeelden van "belevingsitems" uit de vragenlijst

- De natuurkunde-lessen waren eentonig (betrokkenheid)
- Ik vond de natuurkunde-lessen de moeite waard (betrokkenheid)
- Voor natuurkunde moet ik veel moeite doen om het allemaal te begrijpen (moeilijkheid)
- Ik vind natuurkunde ingewikkeld door al die formules (moeilijkheid)
- Ik bestudeer liever natuurkunde uit een boek dan dat ik zelf de gegevens bij elkaar moet zoeken (onderzoekend leren)
- Door zelf iets te onderzoeken krijg je een beter inzicht dan wanneer je alles van de leraar hoort (onderzoekend leren)
- Natuurkunde helpt je dingen uit je omgeving beter te begrijpen (leerzaamheid)
- De natuurkunde-lessen waren leerzaam (leerzaamheid).

Wat zou je nu als oorzaak kunnen zien van de gevonden verschillen tussen PLON- en controle-klassen? Het lijkt me dat zowel het lesmateriaal als het didactisch handelen van de leraar hiervoor verantwoordelijk is²⁵). Zij constitueren beide de leersituatie van de leerling. Een belangrijke vraag is dan welk aspect van de leersituatie voor de verschillen in beleving in PLON- en controle-klassen verantwoordelijk is. We hebben aanwijzingen dat zowel context- als onderzoekend leren hiervoor verantwoordelijk is.

Wat betreft contextleren zijn er o.a. de volgende aanwijzingen: Het komt nogal eens voor dat als je leerlingen vraagt wat ze nou zo leuk of leerzaam vonden aan de lessen de antwoorden bijna altijd wijzen in de richting van "weten hoe iets werkt, begrijpen hoe iets in elkaar zit, waar het voor dient". Ook in dit onderzoek wijst de bewering dat ze meer van t.v. en kranten over natuurkunde begrijpen, in die richting. Maar ook de grotere aandacht voor onderzoekend leren in PLON klassen is een belangrijke oorzaak van de gevonden verschillen. Uit het PLON-CITO onderzoek en nog enkele andere onderzoeken blijkt dat leerlingen dit erg waarderen en het erg leerzaam vinden. (Ik kom daar onder het hoofdje "Leereffecten" nog op terug.)

Leereffecten

We hebben ook onderzoek gedaan naar blok G (leerprestaties) uit het model. In het PLON-CITO onderzoek bleek dan dat er grote correlaties waren tussen de betrokkenheid, resp. de ervaren leerzaamheid enerzijds en toetsprestaties anderzijds. Bovendien bleek dat PLON leerlingen het iets beter deden op de toetsvragen (deze zijn voor een groot deel ontleend aan experimentele PLON

examens en aan Rijksleerplan examens).

Daarnaast menen we - ook in de komende jaren - in het onderzoek aandacht te moeten schenken aan leereffecten, die zich niet zo gemakkelijk via proefwerken of toetsen laten vaststellen, denk o.a. aan de sociale en rapportagevaardigheden waarover Pieter Hogenbirk sprak. In het vernieuwingskenmerken-onderzoek vroegen onderzoekers van PLON en CITO aan 16 leraren, die enige jaren ervaring hebben met PLON in hoeverre de leereffecten (en de leerhouding) bij hun MAVO of HAVO/VWO onderbouw leerlingen anders zijn dan toen ze nog niet met PLON werkten.

De leraren noemden vooral 3 soorten effecten, namelijk: de leerlingen zijn *enthousiaster*, ze zijn *zelfstandiger* en *practischer*. Onder dit laatste vallen uitspraken als:

- ze kunnen beter onderzoekjes opzetten
- een natuurkundig probleem wordt eerder via een experiment aangepakt
- ze zijn flexibeler bij het oplossen van natuurkundige probleempjes
- ze kunnen beter met materiaal en apparatuur omgaan
- ze kunnen beter met opstellingen werken, ze kunnen zelf uitspluizen hoe de opstelling in elkaar zit.

Zowel in het PLON-CITO onderzoek als in het onderzoek van Kuhlemeier bleek dat PLON leerlingen in vergelijking met een controle-groep een positievere houding hebben t.o.v. onderzoekend leren. Men kan dit in zekere zin ook beschouwen als een *leereffekt*, die op grond van PLON lessen is opgetreden, een leereffect dat dus door de leerlingen en de leraren aan het PLON-CITO team gerapporteerd werd.

Met deze indrukken (meer kunnen het niet zijn) van PLON-onderzoek wil ik langzamerhand mijn verhaal afsluiten. Ik stel u in het vooruitzicht dat er nog veel onderzoek op stapel staat, zoals naar doorstroming van PLON leerlingen in het vervolgonderwijs, naar "transfer" van het geleerde, e.d.

Een aantal van die onderzoeken bevindt zich al in de fase van de data-verzameling. Een eerste onderzoek naar wederwaardigheden van ex-PLON mavo leerlingen in het vervolgonderwijs geeft aanwijzingen dat PLON leerlingen het zeker niet minder goed doen dan niet-PLON leerlingen. Ik zal u graag t.z.t. van de resultaten verslag doen.

Aan het eind van mijn verhaal gekomen, wil ik toch de opmerking kwijt dat voorafgaande aan het meten van allerhande leereffecten leereffecten en leerprocessen een bezinning moet plaats vinden op de vraag *welke* leereffecten we eigenlijk bij onze leerlingen hopen te bereiken. Leertheorieën kunnen geen antwoord geven op de vraag *wat* je leerlingen moet leren; integendeel: veel leertheorieën bewegen zich zelfs op een beperkt domein van leerdoelen.

De vraag wat je leerlingen nu eigenlijk wilt leren raakt rechtstreeks de visie die je hebt op natuurkunde-onderwijs en de onderwijsdoelstellingen (vergelijk ook de uitspraak van Fensham op blz.60). Naar mijn idee is dit een uiterst belangrijke vraag die bij veel discussies op deze conferentie impliciet gebleven is en waar we wel weer eens een volgende Woudschotenconferentie aan kunnen wijden.

Noten en literatuurverwijzing

- 1) Deze tekst is een op enkele punten wat gewijzigde (meer uitgewerkte) versie van de voordracht die gehouden is door Ronny Wierstra; ook zijn er (meer) literatuurwijzingen aan de tekst toegevoegd.
- 2) In de motivatietheorie wordt nogal eens een onderscheid aangebracht tussen intrinsieke en extrinsieke motivatie. Concreet gedrag (een artikel schrijven, land omploegen, een natuurkundig probleem oplossen) wordt altijd in gang gezet en gehouden door een combinatie van intrinsieke en extrinsieke motieven. We zeggen dat een leerling intrinsiek gemotiveerd is voor een bepaalde (leer)activiteit naar de mate waarin hij deze activiteit niet alleen uitvoert omdat hij er een extern doel mee denkt te verwerven (bijv. goed cijfer, overgaan, waardering door ouders) maar omdat hij de activiteit *in zichzelf* als belonend ervaart. Voor zover hij de taak uitvoert als middel tot een of meer externe doelen, noemen we de leerling extrinsiek gemotiveerd voor die activiteit.
- 3) Welke onderwijsvisie en onderwijsdoelen we er ook op nahouden, het gaat er bij ieder onderwijs altijd om dat het geleerde op een of andere manier kan *functioneren* buiten de betreffende les(sen) waarin het in aangeleerd (in nog volgende natuurkunde-lessen, in een ander vak, buiten de school, in een vervolgopleiding, enz.).
- 4) Zie o.a. Freudenthal, H. Structuur der wiskunde en wiskundige structuren; een onderwijskundige analyse. Pedagogische Studiën, 56 (1979), nr. 2, 51-60.
- 5) Met de kwalificatie "arm" wil ik geen waarde-oordeel uitspreken; ik bedoel het begrip puur in beschrijvende zin. Freudenthal geeft als voorbeeld van een arme context een verzameling logi-blokken en als voorbeeld van een rijke context een verzameling speelgoed waarmee een kleine wereld kan worden opgebouwd (huisje-boompje-beestje). Zo is het fysisch rijke begrip "puntmassa" arm aan leefwereld- en omgevingscontext.
- 6) - Champagne, A.B., Klopfer, L.E. en Anderson J. Factors influencing the learning of classical mechanics. American Journal of Physics, 1980, 48, 1074-1079.

- Driver, R. en Easley, Autonomous dynamic thinking of young adolescent physics students. In J.A. Easley (Ed.). The use of mathematics in Science Teaching. Urbana, University of Illinois, 1969.
- Viennot, L., Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire. Thesis, Université de Paris VII, 1977.
- 7) Zie o.a. Van Parreren (Psychologie van het leren deel II. Psychologische monografieën. Van Loghem Slaterus 1980.
Naast dit basiswerk zijn beknopter en sneller toegankelijk "Leren op School" en "Informatie over Leren en Onderwijzen" (samen met J. Peeck).
- 8) Tulving, E. en Thompson, D.M. Encoding specificity and retrieval processes in episodic memory. Psychological Review, 1973, 80, 352-373.
- 9) Spilich, G.J. e.a. Text processing of domain - related information for individuals with high and low domain knowledge. Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 1979, 18, 275-291.
- 10) Mayer, R.E. Information processing variables in learning to solve problems. Review of Educational Research, 1975, 45, 525-541.
- 11) Althans "onjuist", wanneer we uitgaan van het *wetenschappelijke* referentiekader van het vak. Zo heeft de term "kracht" in de alledaagse conversatie een andere (common sense) betekenis die in allerlei bewegingssituaties associaties met snelheid misschien meer voor de hand doet liggen dan met versnelling (de laatste associatie ligt in het denken over fysica voor de hand).
- 12) Fensham, P.J. A Research Base for New Objectives of Science Teaching. Science Education, 1983, 67/1, 3-12.
- 13) Of om te zoeken naar een categorie "kracht bij bewegingen". Om de term "begripslading" van Lockhorst aan te halen: Je kunt de *totale lading* die het begrip voor jou gekregen heeft, nooit reproduceren.
- 14) Fensham (zie voetnoot 12) zou dit als een van de doelen van natuurkunde-onderwijs willen zien: "to help students consider a natural phenomenon or piece of technology and associate several features of it with corresponding scientific concepts (p. 9).
- 15) Zie referentie bij noot 7.
- 16) Zie Gagné en White (1979) over opslaan van beelden en ervaringen (episodes): Gagné, R.M., White, R.T. Memory structures and learning outcomes, Review of Educational Research, 1978, 48, 187-222.
- 17) (voorbeeld)....."de kracht hetzelfde bleef, maar de snelheid veranderde (terwijl ik voordien dacht dat snelheid en kracht bij bewegingen zo'n beetje hetzelfde was).....enz.

- 18) Hiermee wil ik niet zeggen dat het lesmateriaal zonder dat de leraar hierin een rol speelt, voldoende is om de motivatie van de leerlingen in stand te houden; motiveren van leerlingen is altijd iets wat de leraar òn (met) het lesmateriaal doet. Dat blijkt ook in ons project. Met de 2 principes (kenmerken) context leren en onderzoekend leren wordt steeds bedoeld leersituaties zoals die door leraar òn materiaal vorm worden gegeven.
- 19) Deci, E.L. Intrinsic motivation. New York, Plenum Press 1975.
- 20) Deci (1975) (zie noot 19) en Bloom (1976). Bloom, B., Human Characteristics and School learning, New York, Mc Graw Hill 1976.
- 21) Vergelijkend onderzoek naar de wijze waarop PLON- en andere (mavo-4) leerlingen aankijken tegen natuurkunde en natuurkunde-onderwijs, 1982.
- 22) PLON vernieuwingskenmerken op het spoor, PLON publicatie, Utrecht, 1982.
- 23) Kuhlemeier, H. Vergelijkend onderzoek naar de Perceptie van de Leeromgeving in PLON-onderwijs en regulier Natuurkunde-onderwijs. Tijdschrift voor Onderwijsresearch (8), 1983, nr. 1-16.
- 24) De correlatie-coëfficiënt is een statistische maat voor de samenhang tussen twee variabelen X en Y. De correlatie is 0 als er geen samenhang is tussen X en Y. Bij een maximale samenhang is de correlatie + 1 of - 1 (afhankelijk van de richting waarin een variabele gedefinieerd is). De correlatie tussen twee volstrekt parallelle toetsen (maar die zijn in de praktijk nauwelijks te realiseren) is + 1. De correlatie tussen linker- en rechter schoenmaat ligt vermoedelijk dicht bij 1.
- 25) Het ging ons in het PLON-CITO onderzoek in eerste instantie om het *gecombineerd* effect van lesmateriaal en didactisch handelen van de leraar (met dat materiaal); we onderscheiden dus een materiaalcomponent en een leraarscomponent. Als het - wat wel eens gezegd wordt - waar zou zijn dat leraren die aan het PLON-experiment meedoen, meer gemotiveerde leraren zijn dan leraren uit de controle-groep, dan is dat een gegeven waar wij weinig aan kunnen veranderen, zonder de natuurgetrouwheid van het onderzoek (afspiegeling van de veldsituatie) geweld te doen. Wat belangrijk is, is dat de leraren in het vernieuwingskenmerken-onderzoek (zie blz.64) in ieder geval duidelijk op de invloed van het lesmateriaal wijzen.

Handelingen - Tekeningen - Taal

D.A. Lockhorst



Aangezien deze voordracht eerder voor een gezelschap natuurkundeleraren gehouden is, bestaat de mogelijkheid dat er onder het gehoor personen zijn die het verhaal voor de tweede keer zullen aanhoren. Dat mag geen bezwaar zijn.

'Herhalen' is immers een didactisch beginsel dat door de meeste leraren aangehangen wordt.

De betekenis van het 'principe van herhaling' in de didactiek is niet eenduidig. Deze hangt af van de leertheorie waarop men zich baseert.

Gaat men uit van een connectionische theorie die zegt dat leren is het vormen van koppelingen tussen prikkels en bijbehorend gedrag, dan betekent herhalen het steeds weer aanbieden van dezelfde opdrachten gevolgd door bekrachtigingen van de goede antwoorden.

Zo'n herhalingsprincipe kan ook in het natuurkunde onderwijs van tijd tot tijd zijn nut hebben. Ik paste het toe om de toch onvermijdelijke vakfeitjes in het geheugen van de leerlingen vast te leggen met de volgende procedure. Aan het begin van iedere les stelde ik gedurende 5 minuten in snelle opvolging feitenvragen, daarbij leerlingen aanwijzend voor het antwoord. Goede antwoorden worden bevestigd, missers niet becommentarieerd. Het is verbluffend hoe snel leerlingen volgens deze methode feitenkennis verwerven.

In de Russische leerpsychologie betekent het principe van herhalen het steeds weer toepassen van dezelfde regels in gevarieerde opdrachten net zo lang tot dat de regels gekend worden. Men maakt daarbij gebruik van een oriëntatiebasis, d.w.z. een systematisch overzicht van begrippen en regels die men voor de opdrachten nodig heeft.

Een voorbeeld zou kunnen zijn het leren uitvoeren van lenzenconstructies. De oriëntatiebasis is dan een serie tekeningen waarin de constructiestralen afzonderlijk getoond worden. Na een aantal constructies kan men de oriëntatiebasis wegnemen; deze bevindt zich dan in het geheugen van de leerlingen.

In werkelijkheid is de procedure ingewikkelder; ik ga daar niet op in. In de lespraktijk mikt men met oefenvraagstukken vaak op dergelijke leerresultaten, echter zelden door toepassen van een volledige oriëntatiebasis waardoor het leerproces minder snel verloopt.



*Een keurig pakketje leerstof
voorzien van het lint der
motivatie.*

De cognitieve leerpsychologie ziet de mens als een informatieverwerker. Men gaat er vanuit dat begrippen beter in het geheugen worden vastgelegd wanneer ze zoveel mogelijk verbindingen met andere begrippen hebben. Kennis ligt volgens deze opvatting vast in netwerken. Voor de didactici betekent dat dat informatie zoveel mogelijk in gevarieerde vorm moet worden aangeboden. Men spreekt nu van het principe van gevarieerde herhaling, op deze vorm van het principe van herhaling gaan we in het vervolg dieper in.

We beginnen bij een waarneming in de praktijk. Als echt montessoriaan ben ik voorstander van theorievorming op basis van observatie van leerlingen in het leslokaal. In het begin van mijn lespraktijk behandelde ik in de tweede klas het begrip 'soortelijk gewicht'. Ik volgde daarbij een zorgvuldige en uitvoerige didaktiek.

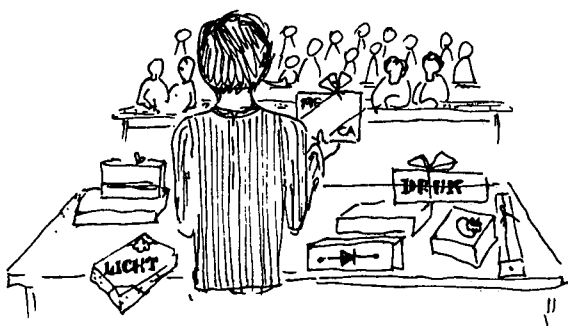
In een onderwijsleergesprek bracht ik de leerlingen vanuit de vraag: 'wat is zwaarder, lood of ijzer?' naar het inzicht dat we 'eerlijk moeten vergelijken', m.a.w. gelijke volumehoeveelheden van de beide materialen moeten nemen. Was het begrip 'soortelijk gewicht' eenmaal ontstaan, dan gingen we dat ook voor enkele stoffen in een demonstratie experiment bepalen. Vervolgens werd de soortelijke gewichten uit het boek bestudeerd, gekeken naar de extreme waarden en ten slotte enkele opdrachten met de getallen uitgevoerd.

Dan vroeg ik aandacht voor het grote soortelijk gewicht van kwik en ging vervolgens rond met een fles kwik die iedereen voorzichtig op mocht tillen.

Aan iedere leerling ontlokte deze ervaring de opgewonden kreet: 'Oef wat zwaar!! Bij mij kwam dan de gedachte op: 'Dat kan niet?! Dat wist je immers al lang, dat kwik zwaar is! Dat heb ik immers uitvoerig behandeld!!

Het voorval illustreert dat bij de begripsvorming de directe zintuiglijke materiële ervaring onvervangbaar is.

Deze gedachte is voor mij de belangrijkste drijfveer geweest voor de ontwikkeling van een practicum. Daarbij heb ik er steeds naar gestreefd dat in de begripsvorming de zintuiglijke ervaring zoveel mogelijk vooraf ging aan de meer abstracte invulling van het begrip.



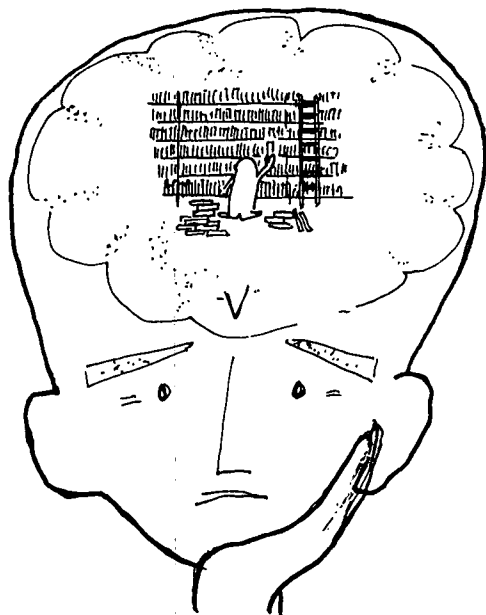
De leraar biedt leerstof aan.

Terugdenkend aan die periode valt mij op dat ik bij de vormgeving van mijn didaktiek eigenlijk nooit uitging van enige heldere voorstelling omtrent de werking van de menselijke hersenen. Impliciet had ik daarover waarschijnlijk uiterst primitieve voorstellingen: het geheugen als een soort pakhuis waarin op planken binnengekomen informatie kan worden weggezet; het onderwijs als overhandigen van informatie. Spreken we immers niet over 'stof overdragen'?

De didaktiek was niet veel meer dan het afmeten van handige goed verdraagbare pakketjes leerstof die door leerlingen als één geheel konden worden aangepakt! We wisten ook wel dat je leerstof aantrekkelijk moest maken; dus we zochten naar een motiverende wijze van aanbieden: een leuk proefje met rook of een knal. Die aardigheden betroffen toch de vaak de buitenkant van de leerstof: een lint met een strik om het pakketje leerstof.

Zo'n voorstelling van de werking van de menselijke hersenen leidt wel tot problemen. Rudy Kousbroek beschrijft dat boeiend in de bundel 'Een kuil om snikkend

in te vallen'. Hij vergelijkt het brein met een archief waarin een mannetje werkzaam is, dat de dossiers opzoekt waarom het 'ik' vraagt. Dat knaapje moet ook steeds beziggehouden worden, doet men dat niet dan gaat het zelf mappen uit de rekken halen en deponeert die ongevraagd op de werktafel van het 'ik', 's nachts vooral.



De archivaris berat de leerstof op in de hersenen.

In dit verhaal valt het brein uitéén in een opslag en een instantie die het systeem kent, die weet waar de dossiers weg te zetten en ze weer terug te vinden. Het archief verwijst naar het geheugen, de archivaris naar de denkfuncties zoals selecteren, ordenen, rangschikken, rubriceren, enz. Ze vormen het studiegebied van de cognitieve psychologie die geïnteresseerd is in de wijze waarop de hersenen informatie verwerven, bewerken, opslaan en weer toepassen in het gedrag. De aandacht verschuift van het archief naar de archivaris, van opslag van informatie naar omgaan met informatie. Enkele aspecten van deze functie van het menselijk brein zullen we nader bekijken.



De archivaris:

zolang je hem opdrachten

geeft gaat alles goed

zoniet, dan gaat hij zelf aan het klungelen en komt

midden in de nacht met dossiers aanzetten.



Informatie opnemen lijkt een enkelvoudig proces maar is het niet. Een voorbeeld: Pieter Paul (Pp) staat aan de IJsselmeerkust en ziet aan de einder een schim die bij hem het beeld van een botter oproept. 'Een botter? Maar heeft ie dan zo'n hoge ronde kop?' Pp kijkt nog eens goed. Neen, de steven is recht! Een rechte steven? Maar dan is het een hoogaars. Klopt de schim met het beeld van een hoogaars? Neen, de steven staat veel steiler. Oh, maar dan is het een schokker! Dit inwendig dialogje onttrekt zich door zijn snelheid aan de waarneming zowel van een buitenstaander als van Pp zelf. Het maakt de kenmerken van informatie verwerven wel duidelijk:

- het brein reageert op een onvolledig schimmig beeld
- dat beeld wordt vergeleken met bestaande kennis
- daarna wordt aanvullende informatie gezocht
- zo wordt stapsgewijs toegewerkt naar een definitief beeld.

Waarnemen is een tweerichting verkeer, waarbij informatie opnamen en informatie zoeken elkaar afwisselen en waarbij het brein een heel actieve rol speelt. Dat is een andere voorstelling dan het passieve 'informatie-aanpakken' waarover we hiervoor spraken.

De consequentie voor het onderwijs is duidelijk: leren verloopt in een exploratieve situatie waarin de hersenen de gelegenheid krijgen onvolledige beelden aan te vullen. Practicum is zo'n situatie. Iedere leerling krijgt daarbij individueel de gelegenheid in eigen tempo de eigen onvolledigheden in het beeld aan te vullen, waarbij alle zintuigen - ook de handen - gebruikt kunnen worden.

In de opslag van informatie spelen begrippen een belangrijke rol. Ze zijn het middel bij uitstek dat het brein gebruikt om ordening te brengen in de overwelddigende hoeveel chaotische informatie die continue binnenkomt.

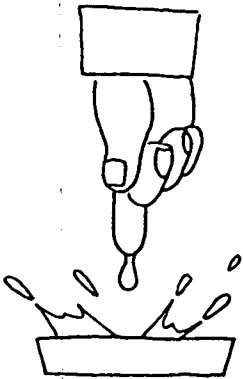
De betekenis van begrippen gaan we weer na aan de hand van een voorbeeld.

Wat zou de reactie zijn op het woord 'vloeistof' in het brein van een brugklasser? Wanneer dat de volzin zou opleveren: 'Dat is een hoeveelheid materie die wel een eigen volume heeft maar geen eigen vorm', zou ik argwaan hebben.

Het zou een pracht voorbeeld zijn van imitatieleren, een leren zonder betekenis. Ik verwacht echter dat er niet een volzin komt maar een reeks losse associaties: 'dat is nat; je kunt het schenken; melk is een vloeistof'.

De mogelijke lading van het begrip bij onze brugklasser zou er als volgt uit kunnen zien:

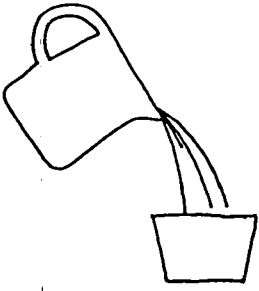
VLOEISTOF



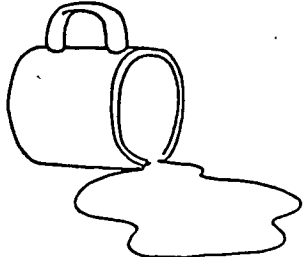
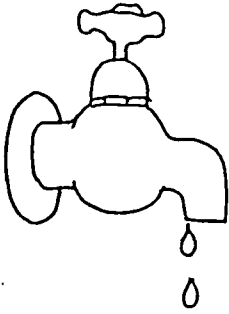
schenken
morsen
stromen

water
melk
stroop

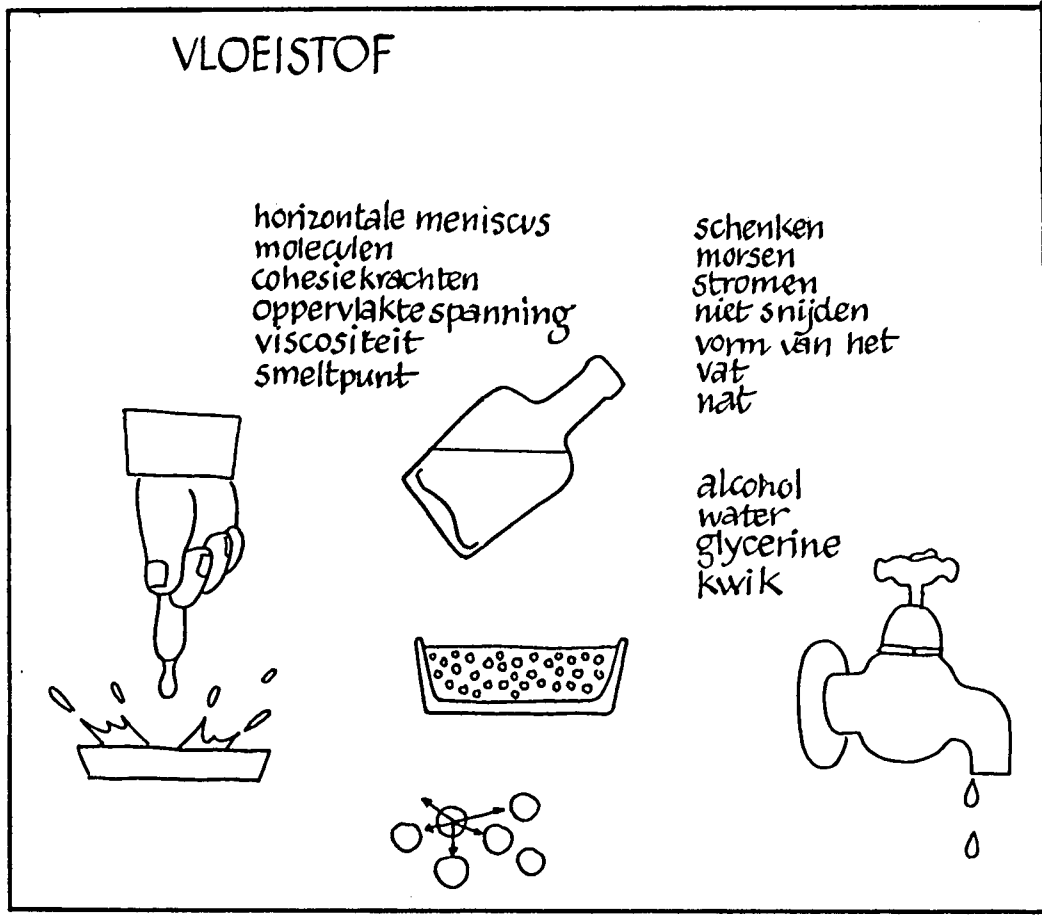
niet snijden



druppels
nat



Voor een bovenbouwer na jaren genoten natuurkunde onderwijs zou het plaatje er zò uit kunnen zien:



Analyse van de plaatjes levert de volgende kenmerken van de lading van een begrip op:

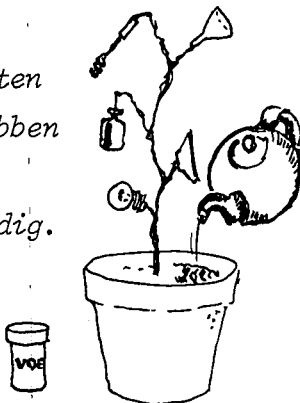
- de lading bestaat ten dele uit zintuiglijke ervaringen
geen mens weet echt wat een vloeistof is zonder ooit ervaren te hebben hoe het aanvoelt wanneer je je vinger erin steekt of wanneer het van je hoofd druipt zoals na een bad.
- een deel van de lading heeft de vorm van beelden, voorstellingen, mentale tekeningen
- de lading bestaat ook uit symbolen, uit woorden
morsen, nat
- er komen ook voorbeelden in voor:
melk, water

- sommige associaties zijn negatief, geven aan wat het juist niet is
je kunt een vloeistof niet snijden
- de begripslading ontwikkelt zich in de loop der tijd
vergelijking van de beide plaatjes maakt dat duidelijk. Een mij bekende geschiedenisdidaktiek sluit hier prachtig bij aan. Vanaf de brugklas moeten de leerlingen een kaartstelsel aanleggen, per historisch begrip één kaart. In de loop van de jaren vullen zich die kaarten naarmate het geschiedenis onderwijs vordert met voorstellingen, voorbeelden en nauwkeurige omschrijvingen.
- op den duur ontstaat een netwerk van begrippen
- de lading van een begrip blijft ook later uit 3 componenten bestaan:
zintuiglijke ervaringen, beelden en symbolen.

Welke consequenties voor de didaktiek kunnen we verbinden aan deze voorstelling van de inhoud en ontwikkeling van begrippen?

Ten eerste dat begrippen moeten worden aangebracht in een spiraalvormig leerplan waarin volgens het principe van gevarieerde herhaling een begrip steeds weer opnieuw maar telkens vanuit een ander gezichtshoek aan de orde wordt gesteld. Dat moet gebeuren vanuit een analyse van de attributen waaruit de begripslading minimaal moet bestaan. De docent kan zich steeds de vraag stellen: 'reikt mijn onderwijs die attributen wel aan?'

*Begrippen moeten
groeien en hebben
voortdurend
verzorging nodig.*



Ten tweede dat de kennismaking van een begrip moet verlopen van concreet naar abstract, volgens de drieslag handelend, beeldend, symboliserend. Dit sluit aan bij de opvatting van Jerome S. Bruner¹ die stelt dat mensen op drie verschillende wijzen de hen omringende werkelijkheid ordenen door er daadwerkelijk mee om te gaan, door er voorstellingen en beelden bij te vormen en door vastleggen in

symbolen zoals taal of wiskunde. Voor practicum betekent dat bijvoorbeeld dat men niet alleen aandacht moet schenken aan de uitvoeringsfase maar minstens zoveel aan de verwerkingsfase waarin de kinderen hun ervaringen moeten vastleggen in tekeningen en grafieken en ten slotte in taal. Daarbij moet men zich afvragen of de drie stappen bijdragen aan een juiste opbouw van het begrip waarom het gaat.

Ten derde: in aansluiting bij Douglas Barnes² willen we t.a.v. de talige ontwikkeling pleiten voor leren door communicatie tussen leerlingen waarbij zij al vragenstellend, en elkaar corrigerend zoeken naar de meest bevredigende formulering en woordkeuze. In feite een pleidooi voor groepswork zoals practicum dat ook in het algemeen is.

Tenslotte heeft onze voorstelling van langzame en fasegewijze ontwikkeling van begrippen consequenties voor de uitleg die de docent zo vaak aan leerlingen of klassen geeft. Uitleggen is een gave die niet iedere docent bezit. Leerlingen hebben daar over het algemeen een scherp oordeel over. Uitleggen is zeker geen enkelvoudige vaardigheid maar één van de componenten is ongetwijfeld het vermogen van een docent om de begripslading bij de leerlingen te achterhalen en deze te vergelijken met de eigen lading van dat begrip, zodat men bij de uitleg niet van een bredere voorstelling gebruik maakt dan de leerling heeft.

Te vaak gaat men nog uit van de gedachte dat een begrip in één of enkele lessen kan worden aangebracht. Zo van: in de 24ste week van het jaar behandelde ik 'massa' en dus kan ik in de 25ste week en in alle weken daarna over dat begrip beschikken en er vraagstukken mee maken. Terwijl in feite nog jaren na de eerste introductie de lading van een begrip voorlopig en onvolledig kan zijn.

Ook al hebben de leerlingen in allerlei hoofdstukken met het begrip massa gewerkt dan heeft het bij vraagstukken over de cirkelbeweging van ionen in een magnetisch veld nog steeds zin om te vragen: 'Massa? Wat stelt jij je daarbij voor? Ken jij verschijnselen waarin de massa een belangrijke rol speelt? Ken je formules met de massa erin; waarom zit de massa nu juist in die formule?' Enzovoorts, steeds op zoek naar de inhoud van de begripskaarten in de breinen van de leerlingen ter correctie, aanvulling, versterking, reactivering.

Nog één voorbeeld wil ik laten zien. Het gaat in dit geval niet om een concreet fysisch begrip dat correspondeert met een tastbaar object in de werkelijkheid, maar om een logisch-mathematisch begrip.

Dat zijn begrippen die ontstaan doordat het menselijk denken relaties gaat leggen tussen de concrete begrippen.

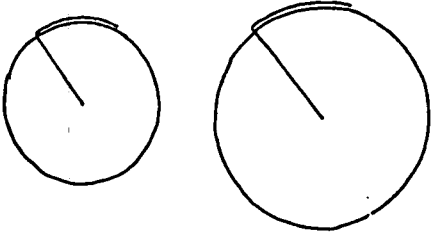
Een voorbeeld daarvan is het begrip 'evenredigheid'. Altijd al heeft het mij geïntrigeerd dat leerlingen van allerlei leeftijden zo'n moeite hebben met het herkennen van en omgaan met evenredigheden. Dat heeft zeker te maken met het feit dat leerlingen niet zonder meer in staat zijn wiskundige kennis en vaardigheid in de natuurkunde toe te passen. Maar een hernieuwde introductie van het begrip binnen natuurkundige context loste het probleem maar ten dele op.

Hoe kan het dat Pieter Paul vandaag een vraagstukje met evenredigheid vaardig oplost en dat diezelfde Pp morgen een evenredigheid niet in een probleem herkent ook al druk ik hem er met de neus bovenop?

Eén en ander werd mij duidelijk toen ik me realiseerde dat mijn eigen lading van het begrip 'evenredigheid' zo gevarieerd is, terwijl ik mij die variatie niet realiseer omdat voor mij inzichtelijk duidelijk is dat de ene representatie

van 'evenredigheid' direct te transformeren is in een andere. Leerlingen moeten voor die transformatie nog erg nadenken en hebben ze zelden echt paraat. Pp kon mij de tweede dag niet volgen omdat ik toen ongemerkt een ander onderdeel van mijn begripslading gebruikte dan de dag ervoor.

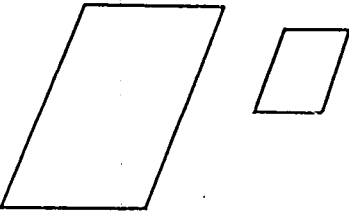
MOEILJKHEID VAN EVENREDIGHEID
mijn eigen lading heel gevarieerd



$\frac{a}{b} = \text{constant}$

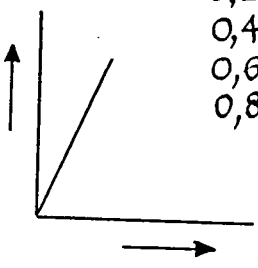
 $a = k \cdot b$

de een 3x20 groot, dan de ander ook 3x20 groot



evenredigheidsmatrix

| | |
|-----|-----|
| 0,2 | 1,7 |
| 0,4 | 3,4 |
| 0,6 | 5,0 |
| 0,8 | 6,9 |



In de didaktiek, in de uitleg heeft het daarom steeds weer zin om te vragen: 'evenredig? Wat komt er dan bij je op? Wat stel je je erbij voor?'

Als samenvatting van het betoog zou ik de didactische principes willen noemen die aan de orde zijn geweest.

- leren in een exploratieve situatie
- leren door gevarieerde herhaling in een spiraalvorming leerplan
- leren van concreet naar abstract in drie stappen handelend, beeldend en in taal
- leren in communicatie met leerlingen en met de leraar

- 1) Jerome S. Bruner 'Toward a Theory of Instruction'
Harvard University Press
Cambridge, Massachusetts 1967.
- 2) Douglas Barnes 'From communications to curriculum'.
Penguin Education 1976.

plenaire discussie

Discussieleider: Dr.W.P.J.Lignac.

- Raat : Het conferentiethema 'hoe leren leerlingen natuurkunde' is zeer relevant voor het bewustwordingsproces van leraren m.b.t. de discussie over de zaken waar zij zich in het onderwijs mee bezig houden.
- Discussiemogelijkheid, die ik toch zie als een voorwaarde voor dit proces; heb ik tijdens de conferentie gemist.
- Het programma is erg vol.
- Mijn vragen: a. De eerste spreker (De Vos) zet zich af tegen het als een rekenregel gebruiken van formules.
De tweede spreker (Hogenbirk) spreekt over het veranderen van kennis door formules. Wie van beide heeft nu gelijk ?
- b. Het vergelijken van effecten van PLON-onderwijs met regulier onderwijs is gevaarlijk. Zijn deze effecten echt toe te schrijven aan het PLON-materiaal of spelen andere factoren, zoals extra begeleiding, à selecte keuze van leraren e.d. een doorslaggevende rol ?
- Hogenbirk : Wij beginnen in het PLON bij concrete ervaringen van leerlingen en kwalitatieve beschrijvingen van verbanden om te eindigen bij een zekere mate van kwantificering.
- Er zijn echter gevallen waarin het gebruik van een formule verantwoord is bij het verhelderen van belangrijke situaties. B.v. effecten van botsingen en functies van veiligheidsvoorzieningen in het verkeer kunnen verhelderd worden en toegankelijk gemaakt worden door de formules
- $$F \Delta s = \Delta(\frac{1}{2}mv^2) \quad F \Delta t = \Delta P$$
- Wierstra : Het verankeren van kennis door het gebruik van een formule vindt pas plaats indien deze formule betekenis krijgt door het te gebruiken in een relevante context. Wat betreft het effect van het PLON-materiaal op het resultaat van het onderwijs merk ik op dat

beschreven onderzoek niet tot doel had aan te tonen dat PLON-onderwijs 'beter' is dan regulier onderwijs, maar dat met PLON-onderwijs positieve resultaten zijn te behalen.

- Biezeveld : De gemeten verschillen in jullie (PLON) onderzoek zijn zo klein, dat ik me afvraag, of je niet in statistische ruis zit te meten.
- Wierstra : Methodologisch is dit onderzoek juist opgezet. De beschreven afwijkingen zijn significant van ruiseffecten te onderscheiden.
- NN : De onderzoeksresultaten zijn moeilijk te waarderen indien je niet tegelijk de situaties (scholen, klassen, leraren) beschrijft waarin gemeten is.
- Mevr.Franssen: Proefjes in het PLON, zoals met de stofzuiger, zijn wel leuk, maar als je er mee verder wilt stuit je onmiddellijk op voor leerlingen zeer lastige theoretische problemen.
- Van der Valk : De stofzuiger maakt deel uit van leven in lucht. De bedoeling is dat ze er zinvolle onderzoekjes mee- en aandoen om achter zinvolle eigenschappen van de situatie te komen.
- Van Haren : De heer Van den Berg besteedt wel veel aandacht aan oplossingsmethodieken van vraagstukken, maar hij laat veel fundamentele vragen over het waarom en het hoe van het gebruik van vraagstukken in het onderwijs liggen.
- Van den Berg : Een praktisch argument om aandacht te besteden aan het oplossen van vraagstukken is het gegeven dat leerlingen dit op het examen ook moeten doen.
Tevens is het oplossen van vraagstukken een onderdeel van het leerproces en speelt het een belangrijke rol in de diagnostiek van het leerproces en bij de beeldvorming van het schoolvak.
Wat het waarom van het maken van vraagstukken betreft ben ik van mening dat bij experimenten zoals ik er een heb gedaan docenten moeten worden ingeschakeld. De vraag naar het gewenste type vraagstuk komt dan aan de orde en is ook aan de orde gekomen.
- Molenaar : Door het onderzoek van Van den Berg wordt de vraagstukkencultus gestimuleerd.
- Van der Valk : De vraagstelling in het heiblokprobleem was er op gericht dat de leerlingen formules zouden gaan gebruiken maar het nodigt niet uit tot een oriëntatie op het probleem.
- Van den Berg : Het heipaalvraagstuk was juist bedoeld om na te gaan in welke mate leerlingen problemen kunnen analyseren.

- Stoffels : Ik heb moeite met de 'hetse' tegen het maken van vraagstukken. De leerlingen worden op het eindexamen ook gezet voor het oplossen van een probleem, terwijl je in het onderwijs door het maken van vraagstukken kennis operationeel maakt.
- Waalwijk : Is er iets naders bekend over de fasen tussen handelen en het vastleggen van beelden ?
- Lockhorst : Je moet dit proces zorgvuldig ondersteunen door een goedgekozen sequentie van voorstellingen en beelden. Het stelt hoge eisen aan je vakmanschap als leraar.
- Heimerikx : Stoffels legitimeert het maken van vraagstukken door op het examen te wijzen. De voorafschaduwning mag echter niet zo ver gaan dat je in de 2e en 3e klas om die reden al met het maken van vraagstukken bezig bent; als dat zo is dan zijn we echt wel op de verkeerde weg.

deel 2 : werkgroepen



subgroep

1

wergroepen

leerstrategieen in natuurkunde - onderwijs

T.H. Twente

P.A.M. Kommers en I. de Bruijn



De ontwikkeling van bruikbaar Computer Ondersteunend Onderwijs, voor schoolsituaties, verloopt problematisch. Daarvoor zijn een aantal oorzaken te geven, zoals het probleem van overdraagbaarheid van computer-programma's naar diverse typen computers.

Wij gaan hier in op een ander probleem, namelijk de doordenking van de situatie waarin C.O.O. zou moeten functioneren en de procedure waarmee men programma's zou moeten ontwikkelen, teneinde tot een praktisch bruikbaar product te komen. Wij beschrijven eerste enkele principes en passen deze vervolgens toe op een specifiek stukje natuurkunde.

De computer kan ter ondersteuning van onderwijs de volgende functies vervullen:

1. Oefenmachine : Het apparaat legt vraagstukken voor, controleert de oplossing en geeft zo nodig nieuw oefenmateriaal. Bij simpele problemen spreken we van 'practice and drill', bij ingewikkelder vragen van 'problem solving'. Voor dit laatste blijkt het zeer moeilijk programma's te maken, die de leerling in de goede richting leiden.
2. Docent : De machine neemt de dialoog met de leerling over. Wij onderscheiden 'socratic dialogue' (door het beantwoorden van successieve vragen komt men aan het einddoel) en 'tutorial dialogue' (aanwijzingen en vragen hebben een algemener karakter).
3. Simulator : De machine levert een namaak-werkelijkheid, waarbij opgemerkt kan worden dat de waarde hiervan zelden uitstijgt boven de echte werkelijkheid. (gesimuleerde proeven doen we alleen, als de echte proef bezwaarlijk is uit te voeren). Een tamelijk moderne richting in deze toepassings sfeer is het leren in een spelvorm ('gaming'), waarbij de computer één der uitvoeringsvormen is. Een ander voorbeeld is: Het ontdekken van een in de computer aanwezig model.

Wij concentreren ons op het volgende op de docentfunctie, en houden hierbij de specifieke functies van oefenmachine en simulator in gedachten voor de nadere uitwerking.

De doceerfunctie van de computer is niet geheel zonder problemen. In onderwijskundige literatuur komt men (recentelijk) een aantal aanbevelingen tegen, die nader aanduiden waar de problemen vandaan komen.

Wij noemen er enkele:

1. De oudere pogingen tot C.O.O.-ontwerp gingen sterk uit van de traditie van Geprogrammeerde Instructie. Daarbij is de leerweg sterk voorgestructureerd, het einddoel ligt vast en het systeem bepaalt langs welke weg de leerling naar dat doel wordt gevoerd ('system control'). Slechts in een enkel geval is dit een wenselijke onderwijsvorm. In de meeste gevallen kan men beter een opzet nastreven, waarbij de leerling de leerweg zelf kan bepalen ('learner control') en het programma zich aanpast aan de behoeften van de leerling. (adaptatie-principe).
2. Aan het C.O.O.-ontwerp dient een grondige inhoudelijke analyse van de leerstof en de leertaak vooraf te gaan. Slechts op deze wijze krijgt men inzicht in de grote variatie in mogelijke leerwegen, en met name de feedback bij gemaakte fouten kan zodoende verbeterd worden.
3. Bij het maken c.q. ontwerpen van C.O.O. zijn verschillende niveau's van complexiteit te onderscheiden.
Als men C.O.O.-aanmaak in een programmeertaal (b.v. BASIC) het laagste niveau noemt, dan merkt men op dat tijdens het programmeren beslissingen van 'hogere hiërarchie' nodig zijn.

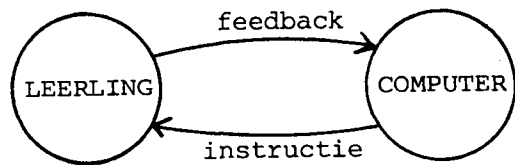
Oplossingen hiervoor zijn, in oplopende hiërarchische waarde:

- a. Een programmeertaal, waarin leerstof en programma in elkaar vervlochten zitten.
- b. Een 'auteurstaal', waarin de te presenteren informatieve teksten niet als reeks lettertekens ('strings') worden beschouwd, maar als presentatie 'frames': complete schermen tekst met eventueel figuurmateriaal (graphics) of schematische weergave.
- c. Een 'auteurssysteem' waarin men instructie-componenten opneemt, die op zich ook weer als frame kunnen worden behandeld. Een frame kan dus uit andere frames bestaan.
De uiteindelijke frames kunnen van verschillend type zijn:
 - presentatie-frames, vraag-frames, feedback-frames, etc.
 - programma-frames, etc.
- d. Leerstofkeuze: Hierbij wordt qua inhoud gespecificeerd welke teksten, plaatjes, schema's, etc. moeten worden gepresenteerd. In de formulering en vormgeving wordt tegelijk gekozen voor de impliciete relaties tussen de begrippen in de leerstof.
- e. Leerstofstructurering: Hierbij wordt aangegeven hoe de leerstof hiërarchisch geordend is, en op welke wijze de onderdelen uit de leerstof aan elkaar gekoppeld kunnen worden. De structuur kan hiertoe in een netwerk worden weergegeven.

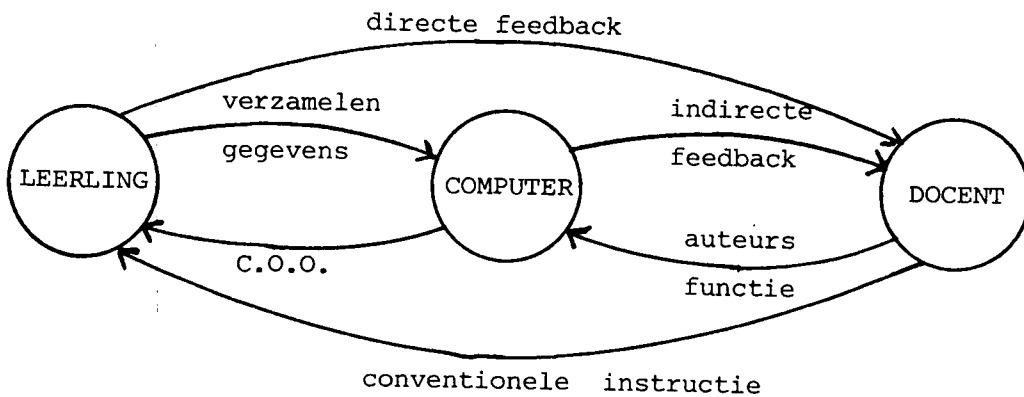
- f. Instructiestrategie: Hierin wordt expliciet gemaakt in welke volgorde en met welke methodiek de presentatie verloopt. Wordt gekozen voor (b.v.) een benadering van concreet naar abstract, omgekeerd, of een combinatie van beide? Ook moet gekozen worden welk niveau van beheersing bij een leerling aanwezig moet zijn alvorens aan de volgende stof kan worden begonnen.
- g. De keuze in onderwijsstrategie spreekt zich uit over het a priori van b.v. de inzet van de computer in het onderwijsproces. Voorts dient gekozen te worden voor de preciese fase waarin dat gebeurt: aanbiedings-, oefenings- of toetsfase.

Aanbevolen wordt, deze niveaus in omgekeerde volgorde te doorlopen, teneinde niet in de fout te vervallen de belangrijkste beslissingen bij C.O.O.-aanmaak 'tussen neus en lippen door' te moeten nemen.

- 4. Over de onderwijs-strategie (niveau f) doet nogal eens het misverstand de ronde, dat C.O.O. de uitschakeling van de docent zou (moeten?) betekenen. Model I geeft dit weer. Het is echter wel duidelijk geworden, dat C.O.O. alleen succesvol is, als men het ziet als een onderdeel van een groter onderwijsproces, waarvan uiteindelijk de docent de touwtjes in handen houdt. (Model II)



MODEL I



MODEL II

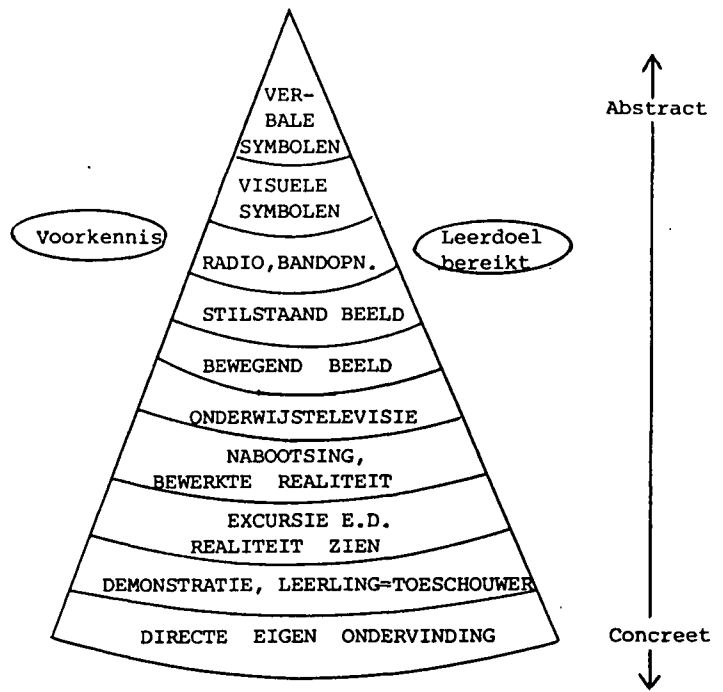
Dit blijkt uit de volgende feiten:

- interactie met de docent blijft mogelijk, op de achtergrond
- de computer wordt door de docent weloverwogen in een bepaald stadium ingezet, de computer neemt tijdelijk het interactieproces over
- de docent bepaalt wat de computer doet. (hij 'levert zich niet uit' aan een programma, waar hij niet achter staat).

5. De representatie van leerstof door media, zoals de computer, kan diverse vormen aannemen. Daarbij kan men sneller door de leerstof heen, naarmate men zich van abstractere representaties bedient (symbolen). De zgn. kegel van Dale geeft dit treffend weer. De in de figuur weergegeven niveaus VII t'm XII zijn alle op het beeldscherm van een

computer te realiseren. Het is goed, voor het verkrijgen van adaptieve programma's, als men het aanbiedingsniveau kan variëren.

Nog beter zou het zijn, de zgn. multi-media aanpak te kiezen, waarbij een variëteit aan computer-opties (joy-sticks, geluidengenerator, computer gestuurde dia-vertoning, lichtpen, etc.) wordt gebruikt voor het creëren van een 'rijke' leeromgeving.



De kegel van Dale: Representaties van leerinhouden.

Na deze 'onderwijskundige' aanwijzingen zullen wij een geval beschouwen, waarbij we overwegen computerondersteuning toe te passen op natuurkunde-onderwijs. Hierbij doen zich weer enkele specifieke mogelijkheden voor (proeven doen !) maar ook de algemenere strategische aanbevelingen vinden wij alle weer terug.

Het onderwerp, dat wij kiezen, is kinematica. Aangenomen wordt, dat dit het eerste onderwerp is, dat in 4 HAVO of VWO wordt behandeld. Wij hebben hier te maken met een aantal niet opgeloste didaktische problemen:

- a. De leerstof wordt hier van formelere aard, en dit proces voltrekt zich in een hoger tempo dan in het voorafgaande onderwijs.
- b. Een aantal wiskundige technieken (vergelijkingen oplossen, grafieken interpreteren, goniometrie toepassen) verschijnt in het natuurkunde onderwijs, maar wordt door veel leerlingen moeizaam toegepast.

- c. De voorkennis van leerlingen is zeer variabel, met name de iets formelere structuren uit de onderbouw-leerstof zijn vaak vergeten, of er zijn hardnekkige misvattingen over fundamentele zaken.
- d. Men kan niet, zoals in de 'eerste ronde', voortdurend appelleren aan de concrete kennislaag van de leerlingen. (hoewel dat voor sommigen nodig zou zijn) Er is grote onzekerheid over de wijze waarop men 'de verticale coördinaat in de kegel van Dale moet kiezen.

Hiernaast bestaan nog een aantal problemen van algemenere aard, zoals overladenheid van het programma en demotivatie van leerlingen bij het moeilijker worden van de leerstof.

Het inzetten van de computer bij onderwijs in de kinematica, kan wellicht een aantal van deze problemen oplossen. We kunnen immers met voordeel gebruik maken van de volgende functies:

- de computer als individueel leermiddel, waardoor in principe een stukje individualisering wordt bereikt, waar de didactische situatie in veel gevallen om vraagt:
- mogelijkheden van animatie: bewegende stippen e.d. op het beeldscherm zijn goede representaties van kinematica-leerstof
- de wiskundige modellen waar de kinematica naartoe werkt zijn uitstekend in de computer te implementeren: als gevolg daarvan kan men goed oefenfuncties met de computer ondersteunen.

Zoals wij in het voorgaande hebben betoogd, vraagt het ontwerp van een eventueel ondersteuningsprogramma om expliciete keuzen op het niveau van onderwijs- en instructiestrategieën. Die keuzen zouden echter moeten berusten op onderzoek, of - tenminste - moeten aansluiten op beproefde didactische praktijk van ervaren leraren. Wij geven enkele mogelijke keuzen, bij wijze van voorbeeld.

Onderwijsstrategie

Het klassikaal onderwijs, met de varianten als praktikum, groepswerk e.d., blijft de hoofdstroom van het onderwijsaanbod. De computer wordt ingezet voor die leerlingen, waarvoor dit aanbod ontoereikend is. (Remedial teaching, men zou echter ook aan een speciale oplossing voor snelle leerlingen kunnen denken). Niet alleen het onderwijs voor die leerlingen, maar ook het onderwijs voor de anderen, kan verbeterd worden door deze uitsplitsing.

Instructiestrategie

- A. Het programma is in hoge mate adaptief, en biedt variabele mogelijkheden voor
- de mate van abstractie: als b.v. een formule niet wordt begrepen, wordt teruggegrepen op een grafische voorstelling, of zelfs op een aanschouwelijke voorstelling van het bewegingsprobleem;
 - het opfrissen van voorkennis elementen, b.v. het feit dat een snelheid moet worden uitgedrukt in m/s en dat een gegeven in km/h kan worden omgerekend;
 - oefenperioden: opgaven van een bepaald probleem-type worden aangeboden, totdat voldoende beheersing wordt geconstateerd;
 - feedback: bij het geven van een fout antwoord kan de leerling eventueel informatie krijgen over de aard van de fout.
- B. In het geval, dat een misverstand van een bepaald type wordt aangetroffen kan overgegaan worden naar een stuk geprogrammeerde instructie, in de klassieke betekenis van dit woord. Merk op, dat deze instructievorm wordt toegepast, wanneer een welomschreven onderwijssituatie met een nauw omschreven doel wordt gewenst.
- C. Het is mogelijk, dat 'in opdracht van de computer' een proef moet worden uitgevoerd, zoals het opnemen en uitmeten van een tikkerband. Een aantal meetresultaten wordt ingetikt en de computer helpt met de verwerking en het trekken van conclusies. Een alternatief is, dat dergelijke proeven op het beeldscherm worden gesimuleerd.

Leerstofstructuur

Een tweetal problemen doen zich voor t.a.v. de leerstofstructuur.

- I. In de eerste plaats is er de vraag, of ten aanzien van de 'wiskundige technieken' een breed aanbod zal worden toegepast of niet. Ter vergelijking de volgende vragen:
- in de loop van het 4e klas-programma zal men de helling van een lijn in een grafiek (of het oppervlak eronder !) gaan aanmerken als een fysische grootheid, beoefent men deze techniek al direct in het begin (bij het eerste onderwerp) of stelt men zoiets uit tot een volgend hoofdstuk ?
 - een zelfde vraag kan men stellen ten aanzien van het tekenen van vectoren, het ontbinden en het samenstellen ervan.

Populair gezegd: Men kan bij kinematica al flink lastige opgaven bedenken. Als men daaraan werkt, duurt het nogal lang voordat men aan het volgende onderwerp begint (dynamica), maar hier staat tegenover dat men voor de beoelde technieken een herhalings-effect verkrijgt.

II. De vraag doet zich voor, hoe 'rijk' de context bij kinematica moet zijn: blijft het bij stoffelijke punten of worden er ook situaties beschouwd die buiten de enge fysische wereld interessant zijn ?

Nawoord

Wij hopen met één en ander duidelijk gemaakt te hebben, dat het ontwikkelen van bruikbare vormen van Computer Ondersteunend Onderwijs een activiteit is, waarbij deskundige personen uit de onderwijspraktijk (ervaren docenten) actief moeten samenwerken met b.v. deskundigen in het onderwijskundig programmeren. In het voorbeeld hebben wij aangegeven, welk type keuzen moeten worden gemaakt door de mensen-in-het-veld, als zij willen uitleggen aan anderen hoe computer-ondersteuning voor hen van nut zou kunnen zijn.

Die keuzen moet men maken op grond van de inschatting, hoe leerlingen natuurkunde leren. Aan de andere kant krijgt men weer een nieuwe kijk op deze vraag, wanneer men gedwongen is de vragen te beantwoorden, die de onderwijskundig programmeur stelt.

leertheorie en een stukje praktijk

een voorbeeld uit de mechanica

R.U. Groningen

J.F. Schröder



In het natuurkundeonderwijs, zoals dat gemiddeld op de middelbare school gestalte krijgt, komen enkele onderdelen voor die jaar in jaar uit veel problemen opleveren bij de leerlingen. Een van die onderdelen is de mechanika. Op verschillende manieren wordt geprobeerd de moeilijkheden van leerlingen wat in te tomen b.v. door het aanleren van heuristieken bij het oplossen van natuurkunde vraagstukken of door fundamentele te kiezen voor een aanpak waarin de omgeving van de leerling meer centraal staat (PLON-thema Verkeer en Veiligheid). Naast deze zeer nuttige activiteiten kan ook bij het aanbieden van "traditionele" leerstof veel gedaan worden om leerlingen te helpen door een zekere structurering in die leerstof aan te brengen die volgt uit leertheoretische overwegingen. Deze structurering zou dan moeten leiden tot het beter ontwikkelen van cognitieve begrippen bij leerlingen waarbij de docent de helpende en sturende hand biedt. De eisen die aan een dergelijke structurering gesteld worden zijn b.v. door Galperin geformuleerd. Hij onderscheidt vijf fasen die achtereenvolgens, min of meer uitgebreid in wat genoemd wordt: ontwikkelend onderwijs ingebouwd moeten worden t.w.: de oriënteringsbasis, de fase van het materiaal handelen, het verbaal handelen, het inwendig spreken en tot slot het mentaal handelen. Deze grote lijn legt nog niet veel vast van de mate van vrijheid die leerlingen krijgen. Het is binnen ontwikkelend onderwijs nog mogelijk te kiezen voor banend onderwijs (leerlingen ontdekken zelf) en sturend onderwijs. De laatste term houdt niet in dat "kookboek"-instructies gegeven worden. Sturend onderwijs hoeft creativiteit en eigen inbreng van de leerling niet te belemmeren. Veel onderwijsgevers die de "discovery"-methode aanhangen blijken zich in de praktijk bezig te houden met "guided-discovery".

Voor een stukje mechanika handelend over plaats-tijd-snelheid, waarvan de wortels te vinden zijn in een door het IOWO ontwikkeld natuurkundepakket bij een bijpassend wiskundeprogramma en dat op dit moment gebruikt wordt in een onderzoek naar heuristieken in het wiskundeonderwijs, is de grote lijn, die er volgens de genoemde leertheorie in zou moeten zitten, aan te geven. De deelnemers aan de werkgroepen op "Woudschoten" hebben zowel het lesmateriaal als de theoretische lijn uitgereikt gekregen. In de komende tijd is het nodig verder te onderzoeken of en in hoeverre een dergelijke structurering inderdaad bijdraagt tot een betere ontwikkelen van cognitieve begrippen.

Om nu al iets te kunnen zeggen is een oriënteringskaart die bij het lesmateriaal voor leerlingen is gemaakt uitgeprobeerd in een vierde en vijfde klas van het vwo. Een oriënteringskaart bevat voor het aanleren van een bepaalde vaardigheid een overzicht van de stappen die een leerling achtereenvolgens moet maken om een taak te kunnen uitvoeren. De vaardigheid waar het hier om ging

was het vinden van de afgeleide functie bij een gegeven grafiek. Alle leerlingen hadden in principe het stukje mechanica al op de "normale manier" bestudeerd. Eerst zijn ze vertrouwd gemaakt met de oriënteringskaart, daarna hebben ze de kaart gebruikt bij het oplossen van enkele problemen waarbij ze van een gegeven $S_t - t$ grafiek de bijbehorende $V_t - t$ grafiek moesten tekenen. Na deze start kregen de leerlingen een botsing te zien van twee wagentjes op een luchtrail. Ze moesten proberen eerst de plaats/tijd grafiek te tekenen en uit die grafiek de snelheid/tijd grafiek af te leiden. Ook hier mocht de oriënteringskaart gebruikt worden. Tot slot werd een nieuwe beweging gedemonstreerd van een wagentje op de luchtrail. Individueel, zonder de oriënteringskaart, moesten de leerlingen weer de $S_t - t$ grafiek en de bijbehorende $V_t - t$ grafiek tekenen. De totale voorbereiding vond plaats in twee achtereenvolgende lesuren. De nieuwe beweging, afkomstig uit een Amerikaans onderzoek onder zeer goede natuurkundestudenten, laat een wagentje zien dat van een schuin opgestelde luchtrail afglijdt, halverwege tussen de polen van een hoefmagneet doorloopt en daar sterk wordt afgeremd en tenslotte tegen een veer aan het eind van de luchtrail terugkaatst. Ook op de conferentie is deze proef uitgevoerd onder de docenten die deelnamen aan de werkgroepen.

De resultaten van de voorbereide leerlingen, van niet-voorbereide leerlingen, van de docenten, van de Amerikaanse studenten en van studenten van de lerarenopleiding aan de Universiteit van Amsterdam zijn samengebracht in de tabel. In kolom I staan de percentages goede tot redelijke grafieken (zowel s-t als v-t), in kolom II staan de scores van de grafieken waar één of meer serieuze gebreken aan te onderkennen waren en in kolom III staan de resultaten waarbij één of beide grafieken volledig fout waren.

| | <u>Tabel</u> | <u>I</u> | <u>II</u> | <u>III</u> |
|----------------------|---------------|----------|-----------|------------|
| met voorbereiding | 4 ath. | 34 | 61 | 5 |
| | 5 ath. | 21 | 64 | 14 |
| zonder voorbereiding | 4 gym. | 23 | 36 | 41 |
| | 5 ath. | 11 | 46 | 43 |
| | docenten | 41 | 43 | 16 |
| | nederl. stud. | 14 | 60 | 26 |
| | amerik. stud. | 30 | 45 | 25 |

Uit de resultaten is af te leiden dat zelfs een summiere voorbereiding in ieder geval het aantal volledig foute grafieken belangrijk omlaag brengt. De geschetste structuur in de leerstof beter en konsekwen-ter in alle lessen inbouwen zal ook leiden tot een toenemen van de scores van kolom I.

In dit onderzoekje zijn maar twee kleine onderdelen van alle te leren vaardigheden bekeken: het vinden van een "afgeleide grafiek" uit een gegeven grafiek en het tekenen van een plaats-tijd grafiek aan de hand van een gedemonstreerde beweging.

Bij het laatste punt is het de vraag wat voor leerlingen het meest voor de hand liggend is een plaats-tijd grafiek tekenen of een snelheid-tijd grafiek. Bij het kijken naar een beweging is het waarnemen van de snelheid van het voorwerp en die snelheid relateren aan de plaats de eenvoudigste koppeling die te maken is. Zowel voor de plaats als voor de snelheid is het vinden van het verband met de tijd een moeilijke stap en naar mijn mening een even moeilijke stap.

Het is dan ook een acceptabele opdracht aan leerlingen om als eerste een plaats-tijd grafiek te tekenen zeker als we rekening houden met het doel een afgeleide funktie te leren vinden.

Een zaak die nog verder geanalyseerd moet worden is het grote aantal foutieve antwoorden. Wat denken leerlingen bij het tekenen van bepaalde grafieken en wat heeft dat voor konsekwenties voor het te geven onderwijs. Misschien iets voor een volgende Woudschotenkonferentie.

Literatuur

Veel info is te vinden in:

1. Parreren, C.F. van en G.A.M. Carpay. Sovjetpsychologen over onderwijs en cognitieve ontwikkeling. Groningen, Wolters Noordhoff 1981.
2. Streun, A. van. Het projekt technisch natuurkunde onderwijs. Sept. 1982, R.U.G. Mathematisch Instituut.
3. Parreren, C.F. van. In onderzoek van onderwijsleerprocessen. Den Haag, S.V.O. reeks, ORD 1981 (E. de Corte red.)
4. Peters, P.C. Even honorsstudents have conceptual difficulties with physics. Am. J.Phys. 50 (6) 1982, 501-508.
5. Commen, J. Doktoraal scriptie, Utrecht 1981.
6. Met dank aan P. Molenaar en de gegevens van zijn studenten.

leren begrijpen en helpen bij het leren

SOL - Utrecht

A. de Hartog, J. Scherrenburg, T. Smit

Hoe leer ik zelf? Hoe leert een leerling?

En een andere leerling en weer een andere?

Allemaal verschillend, of is er een structuur in te ontdekken?

Wélke structuur dan? Kan ik er als leraar rekening mee houden bij mijn lesvoorbereiding en tijdens het lesgeven? Hoe dan?

Dit zijn allemaal vragen die elke leraar zich wel eens heeft gesteld.

In deze werkgroep kan elke deelnemer daarover bij zichzelf en de anderen in de groep iets ontdekken, aan de hand van problemen en opdrachten die wij zullen inbrengen. Vanwege de tijd kunnen we maar enkele aspecten van "leren" zelf laten ervaren. Aan het einde van de bijeenkomst zullen we het in het brede kader van een leerproces plaatsen, gericht op het leraarschap. Tevens is er dan gelegenheid over het geleerde en het nut voor de klassepraktijk met elkaar van gedachten te wisselen.

Onderzoek naar denkebeelden van leerlingen

R.U. Utrecht

D. van Genderen, P. Lijnse



Inleiding

Natuurkunde leren vereist niet alleen vertrouwd raken met vreemde denkbeelden, maar ook vervreemd raken van vertrouwde denkbeelden. Leerlingen zijn geen ongeschreven bladen of lege vaten, die we volgens ons systeem kunnen vullen met informatie. Integendeel: leerlingen hebben een jarenlange ervaring met dingen en verschijnselen; ze hebben uit hun omgeving en via krant, televisie enz. al veel informatie gekregen. Die informatie hebben ze, gewoon met hun gezond verstand, verwerkt in bepaalde denkpatronen, die voor hun besef aannemelijke verklaringen inhouden van wat ze waarnemen. (Bijvoorbeeld: een schip drijft, doordat er lucht in zit; de lichtheid van lucht is de oorzaak).

Onderzoek naar 'preconceptions', 'Alltagsvorstellungen' of 'straatbeelden' kan gegevens en ideeën opleveren die van belang zijn voor de onderwijspraktijk. Het aantal publicaties hierover is in de laatste jaren sterk toegenomen.

Uit ons eigen onderzoek, nog bescheiden van omvang, hebben we een aantal voorbeelden besproken, waarin het 'straatbeeld' bij veel leerlingen prevaleert boven het 'schoolbeeld'.

Enkele voorbeelden

We hebben op enkele scholen aan leerlingen in 4e klassen vwo en op één school ook aan leerlingen in 3 vwo, een lijst voorgelegd van 17 vragen over

- situaties waarin twee krachten, uitgeoefend op hetzelfde voorwerp, elkaar compenseren
- situaties waarin twee voorwerpen krachten op elkaar uitoefenen ('actie en reactie')

Hieronder enkele voorbeelden, waarbij de scoringspercentages vermeld zijn van

A: leerlingen die nog niet de bovenbouwmechanica gehad hebben (eind 3e en begin 4e klas)

B: leerlingen die wel de bovenbouwmechanica gehad hebben, maar bij wie daar enkele maanden overheen zijn gegaan (eind 4e klas)

A B

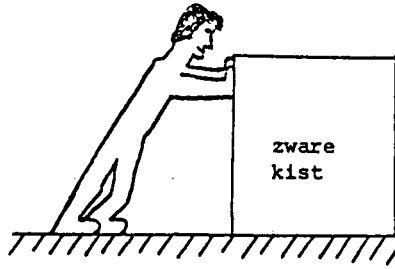
65 62

0 2

12 18

23 18

2 Ik probeer een zware kist over een horizontale vloer te schuiven, maar ik krijg er geen beweging in.
 - Wat is de oorzaak?
 O De wrijvingskracht die de vloer op de kist uitoefent is groter dan de kracht van mij op de kist.
 O De wrijvingskracht is kleiner dan de kracht van mij, maar toch groot genoeg om de kist op zijn plaats te houden.
 O De wrijvingskracht van de vloer op de kist is even groot als de kracht van mij op de kist.
 O Geen van de drie oorzaken. De oorzaak is namelijk:.....



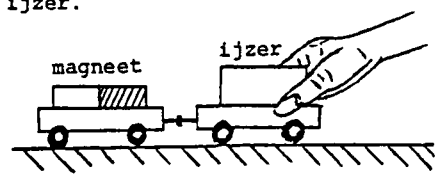
A B

22 12

3 27

75 61

5 Twee karretjes die aan elkaar gekoppeld zijn kunnen wrijvingsloos over een horizontale rijbaan bewegen. Op het linker karretje ligt een magneet en op het rechter een stuk ijzer.
 - Als de karretjes losgelaten worden, gaan ze
 O naar links rijden.
 O naar rechts rijden.
 O niet rijden.
 Motiveer je antwoord!



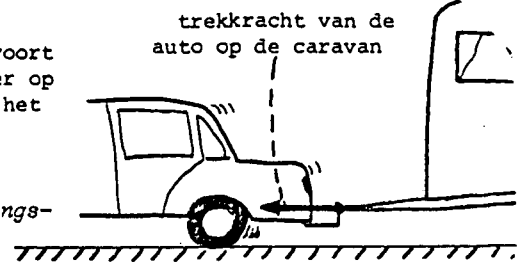
6 Een auto trekt een caravan met konstante snelheid voort over een vlakke weg. Behalve de trekkracht werken er op de caravan ook wrijvingskrachten (uitgeoefend door het wegdek en door de lucht).

1^e bewering: "De trekkracht is groter dan de wrijvingskrachten."
 - Ben je het hier mee eens? ja/nee
 Motiveer je antwoord!

2^e 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 hier mee eens? ja/nee
 Motiveer je antwoord!

A 83/17 B 80/20

A 15/85 B 64/36



A B

6 2

12 24

74 67

9 7

13 Op weg naar school is de ketting van mijn fiets gebroken. Nu laat ik me duwen door een vriend(in).
 O Daarbij oefen ik een kracht uit die groter is dan de kracht waarmee ik geduwd wordt.
 O Daarbij oefen ik een kracht uit die even groot is als de kracht waarmee ik geduwd wordt.
 O Daarbij oefen ik een kracht uit die kleiner is dan de kracht waarmee ik geduwd wordt.
 O Ik oefen helemaal geen kracht uit.

Betekenis

Welke aanwijzingen geven resultaten als de bovengenoemde ons met betrekking tot de gangbare denkbeelden of denkschema's van leerlingen ?

Het gewone taalgebruik, waarin de leerlingen gewend zijn hun ervaringen uit te drukken, lijkt ons belangrijk voor de interpretatie.

- a. 'kracht' is gekoppeld met actief zijn, met inspanning en prestatie. Word ik door iemand geduwd (vraag 13, zie vorige pagina) dan oefent de ander meer kracht uit dan ik.
- b. een 'krachtmeting' is geassocieerd met een wedstrijd, waarin meestal de ene partij sterker blijkt dan de andere. Bij het trekken van een caravan (vraag 6.) moeten wrijvingskrachten 'overwonnen' worden. Bij het vergeefs duwen tegen een kist (vraag 2) 'wint' de wrijvingskracht.
- c. in de omgang tussen mensen treden 'actie' en 'reactie' niet gelijktijdig op; ze hoeven ook zeker niet even 'sterk' te zijn. Dat een magneet en een stuk ijzer elkaar even sterk aantrekken (vraag 5) is zeker niet vanzelfsprekend.

Ervaren natuurkundeleraren onderkennen deze moeilijkheden wel, maar zijn wellicht geneigd de hardnekkigheid van het 'straatbeeld' te onderschatten. We hebben van gedachten gewisseld over voorbeelden en proeven die de overgang naar het 'schoolbeeld' kunnen bevorderen. Zo zou b.v. vraag 5 (zie voorbeeld) uitgangspunt kunnen zijn voor een discussie met de leerlingen over 'actie en reactie'.

subgroep

5

werkgroepen

natuurkunde op de mts

Chr. Huygensschool - R'dam

G. Werner

Leden van de werkgroep waren: de inspecteur voor het havo-onderwijs, leraren van de havo, hts, mts en de lerarenopleiding, medewerkers van het PLON en didactisch-technische medewerkers van bedrijven die leermiddelen leveren. De titel voor de inleiding van de bespreking luidde: 'zijn de studieresultaten van mts-leerlingen op de hts een baken voor de havo'. Een diaserie gaf allereerst enig inzicht in het werken op de mts, in het bijzonder op de afdeling elektronika van de gemeentelijke mts te Rotterdam, de Christiaan Huygensschool. De natuurkunde is in het eerste en het tweede leerjaar voor elke vakrichting anders uitgewerkt. Het havo-programma voor natuurkunde inspireert de mts, maar kan niet worden gevolgd. Bij de afdeling elektronika wordt tijdens de natuurkundelessen geen elektriciteitsleer behandeld. Bij de afdeling optiek is de optika een technisch vak, de optika ontbreekt daardoor in het praktikum voor de natuurkunde van de opticiens.

Naar aanleiding van de dia's over het natuurkundepraktikum werd opgemerkt dat de mts onderwerpen behandelt die op de havo zijn vervallen. Tot die onderwerpen behoren delen van de klassieke mechanica zoals koppels, maar ook vloeistofdrukken benadrukt men op de havo niet meer. Aan de hand van transparanten is er op gewezen dat bij de regeltechniek voor de procesindustrie kennis over vloeistofdrukken nodig is. Als voorbeeld is uitgewerkt het lekverlies bij pompen. In verband met de milieuvervuiling door de lekverliezen zijn er nu betere, maar kwetsbare mechanische afdichtingen in gebruik. Cavitatie veroorzaakt bij gebruik van 'mechanical seals' vele ernstige storingen. Om cavitatie te voorkomen moet de mts'er de optredende vloeistofdrukken kunnen bepalen met betrekking tot de heersende dampspanningen. Uit de discussie over de vloeistofdrukken kwam naar voren dat de mts werkt in een voor de leerlingen herkenbare maatschappelijke context. Door het werken is er een voortdurende motivering. Met behulp van waarnemingsresultaten van leerlingen besprak de werkgroep het concrete niveau en het formele van praktikumopdrachten. Op concreet niveau werkt de leerling als van een massaveersysteem met een enkele veer, de veerconstante wordt bepaald. De golfverschijnselen tussen een reflectiescherm van kippegaas en twee TV-kanalenkiezers als zender en ontvanger vereisen, naast het concrete meten van de verschijnselen, discussies op formeel niveau om de meetresultaten te verantwoorden. Meetresultaten die direct verwerkt kunnen worden door iedere leerling, werken met de materialen in de handen, die facetten moeten voorkomen in een opdracht voor het natuurkundepraktikum op de mts. Uit de dia's en transparanten volgde dat het natuurkundepraktikum een handvaardigheidspraktikum is.

Hoe bereiken mts'ers goede resultaten bij hun verdere studie terwijl veel tijd

op de mts is besteed aan opdrachten op een concreet niveau? Over de goede studieresultaten van mts'ers op de hts was ieder het eens. Op de mts wordt voortdurend en in steeds verschillende situaties met de verkregen kennis gewerkt. Als voorbeeld van het onopzettelijk herhalen is gesteld het onderwerp water. Water komt de mts'er tegen bij de scheikunde maar ook bij de technische vakken. Het industriewater moet een aantal fysische en chemische behandelingen ondergaan. Tijdens de lessen materialenkennis, komt het water voor bij de kathodische bescherming. Tekenafspraken kan de leerling onthouden met behulp van de zelfopofferende zinkanoden die men in de pleziervaart toepast. Vermoedelijk zijn die onopzettelijke herhalingen en het werken in een maatschappelijke context belangrijke invloedsfactoren op de studieresultaten. Van invloed is vermoedelijk ook de positieve selectie die de mts'er heeft ervaren in de voor vele leerlingen moeilijke leeftijd van 15 jaar en ouder. Op de lts vormden de mts'ers een aparte groep die een op de eisen van de mts afgestelde opleiding volgde. Op de mts vormt de groep die naar de hts gaat in het laatste leerjaar weer een select gezelschap, homogeen door het voor de hts vereiste keuzepakket. Bij de start op de hts zijn de mts'ers ouder dan de havo-leerlingen, er is daardoor meestal een grotere sociale vaardigheid aanwezig. De mts'er is gewend aan de technische sfeer, die sfeer schijnt dikwijls niet leerlingvriendelijk te zijn, maar is na een geslaagde aansluiting meestal prettiger dan verwacht werd. De mts'er heeft bij de aansluiting op de hts een voorsprong op de havo-leerling. Voor de mts geldt dat ze de leerlingen goed voorbereidt op de aansluiting tot de hts. Er zijn meestal leraren bij betrokken die de hts uit eigen ervaring hebben leren kennen. De programma's van de hts zijn dikwijls zeer verschillend, ook voor gelijke vakrichtingen. Een mts stelt zich ongemerkt in op die hts waar de meeste leerlingen heengaan. Uit het voorgaande trok de werkgroep de conclusie:

'de strijd tussen de mts'er en de havo-leerling bij de aansluiting op de aansluiting op de hts is een oneerlijke strijd'.

Voor de natuurkunde op de mts gelden de conclusies:

- de natuurkunde op de mts moet in het eerste en het tweede leerjaar veel opdrachten bevatten op concreet niveau. Vanuit die opdrachten moet er een mogelijkheid zijn op formeel niveau te gaan werken.
- mts heeft ten opzichte van de havo het grote voordeel in een duidelijke maatschappelijke context te werken. Op de mts is het niet nodig voor de natuurkundeleraar naar toepassingen te zoeken.
- de mts heeft meer mogelijkheden de aansluiting op de hts voor de leerlingen goed te laten verlopen dan de havo.

- voor een mavo-leerling die het voornemen heeft naar de hts te gaan is de mts een zeer goede opleiding.
- de mts moet alert blijven met betrekking tot de aansluiting op de hts, een te groot aantal leerlingen verwacht dankzij de goede resultaten die zijn geboekt een vlotte aansluiting. Voortdurend inventariseren van de gunstige invloedsfactoren op het goed verlopen van de vervolgstudie is nodig. De grootte van de invloed van die factoren is afhankelijk van de wijze waarop de havo-opleiding zich ontwikkelt.

leren met dbk

V.U. Amsterdam

P. Licht

0. Introductie

De 75 minuten die in vandaag heb om U iets te vertellen en mee te geven over het projekt DBK-na zijn voor een dergelijk omvangrijk projekt wat aan de krappe kant. Ik heb tijdens de voorbereiding dan ook een aantal keuzen moeten doen. Ik heb daarbij gekozen voor de praktische aspecten van DBK-na, er daarbij van uitgaande dat dit U als natuurkundeleraren het meest zou interesseren.

Binnen die praktische aspecten beperk ik me dan weer tot twee onderdelen uit de DBK-lespraktijk die het meest opvallen:

het leerlingpraktikum en de differentiële periode. In deze onderdelen komt het best tot uitdrukking hoe de leerlingen binnen het DBK-projekt omgaan met het lesmateriaal en bezig zijn met natuurkunde.

Bij de invulling van de onderwijsinhoud en de manier van werken in de klas hebben binnen de DBK-na projekt ontwikkelings- en leerpsychologische overwegingen een ondergeschikte rol gespeeld. In het midden van de jaren '70 waren natuurlijk wel de bevindingen van Piaget en Bruner bekend, maar de Russische leerpsychologie begon net door vertalingen voor ons toegankelijk te worden. Voor mijn lezing betekent dit dat ik aandacht besteed aan het globale verloop van het onderwijs in een klas. Ik ga dus niet in op individuele leerervaringen en wijze van kennisverwerving. In het onderzoek dat Age Miedema nu uitvoert in het kader van het DBK-projekt gebeurt dat wel. We zien dat dan ook als een verdieping van het onderzoek dat tot nog toe heeft plaatsgehad.

Buiten mijn lezing om heb ik informatiemateriaal voor U over vele zaken die ik vanochtend niet aan de orde kan stellen, maar die U thuis eventueel kunt door-
kijken.

Het programma ziet er als volgt uit:

1. Achtergronden van het projekt DBK-na
2. Leerlingen leren door het praktikum natuurkunde
3. Video over het 1.1. praktikum
4. Korte diskussie + vragen
5. Leerlingen leren gedifferentieert natuurkunde
- 6.

Keuze uit:-video over de diff. periode + diskussie

-doorkijken van lesmateriaal klas 3 havo-vwo

1. Achtergronden van het projekt

Het projekt DBK-na (differentiatie binnen klasseverband voor natuurkunde) is een samenwerkingsverband tussen leraren natuurkunde en de vakgroep didactiek natuurkunde van de V.U. Dit samenwerkingsverband is in 1974 op initiatief van de V.U. gestart. Ook toen was differentiatie aktueel, omdat er kort na de invoering van de mammoetwet een toenemende tendens bestond om tot een 2- of 3-jarige verlengde brugperiode mavo-havo-vwo te komen. Binnen deze vb was aangepast lesmateriaal nodig om te kunnen werken met heterogene groepen. Het gaat dus om het tegemoet komen aan verschillen tussen leerlingen binnen één klas door het onderwijs aangepast en tolerant te maken voor allen. De aktualiteit van DBK werd vergroot door het verschijnen van de contourennota in 1975. De leraren natuurkunde die participeren in het samenwerkingsverband waren geïnteresseerd in het ontwikkelen van lesmateriaal, terwijl de belangstelling van de V.U.-medewerkers vooral ook uitging naar onderzoek.

Belangrijke redenen voor leraren om mee te doen waren:

- de leerlingen kunnen het boek niet meer lezen
- voor veel leerlingen wordt de natuurkunde te formeel gepresenteerd
- de resultaten en de motivatie van veel leerlingen zijn matig tot slecht en nemen af gedurende de leerjaren 2 en 3
- de experimentele kant komt niet tot zijn recht in de wijze waarop leerlingen worden betrokken bij proeven
- er wordt te weinig aandacht besteed aan het gegeven dat natuurkunde in de onderbouw voor veel leerlingen eindonderwijs is.

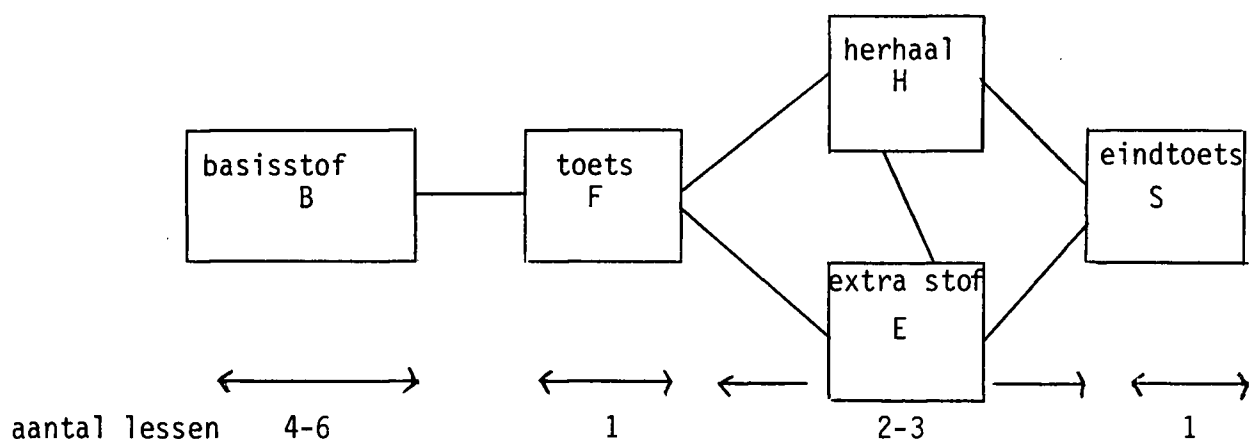
Vanuit de DBK-gedachte en de kritiek op bestaande methoden werd besloten om een nieuw kurrikulum te ontwikkelen voor de onderbouw mavo-havo-vwo. We zijn begonnen in 2 en 3 havo-vwo, later 2 mavo-havo-vwo en de klassen 3 en 4 mavo.

In het vervolg is de verslaggeving beknopt gehouden. Dat wil zeggen dat puntsgewijs de zaken worden vermeld, die aan de orde zijn geweest.

De voornaamste kenmerken van dit kurrikulum zijn:

- * het gekozen differentiatie-model, het BHE-model (basisstof-herhaalstof-extra-stof). De belangrijkste motieven van deze keuze zijn:
 - zowel tempo- als niveaudifferentiatie zijn realiseerbaar binnen dit model
 - het is een geleidelijke overgang van klassikaal naar meer gedifferentieerd onderwijs. Dit gaat binnen een strategie van geleidelijke gewinning van leraren en leerlingen aan differentiatie in de klas.

Schematisch ziet dit model er aldus uit:



Een leerstofeenheid (blok) duurt dus 8 tot 11 lessen.

De differentiatie in tempo komt tot stand, doordat sommige leerlingen na de F-toets al klaar zijn met de basisstof, terwijl anderen nog een aantal extra lessen nodig hebben. De differentiatie in niveau wordt gerealiseerd door naast de basisstof extrastof op te nemen, waarbinnen sprake is van verbreding of verdieping.

- * het leerlingpraktikum neemt een centrale plaats in. In de praktijk wordt in de basisperiode ca. 60% van de lestijd aan praktikum besteed.
- * er wordt een sterk beroep gedaan op de zelfstandigheid van de leerlingen, zowel in de basisperiode maar vooral in de differentiële periode.

Belangrijkste voorwaarden waren:

- * het kurrikulum moet op 'normale' scholen bruikbaar zijn (geen taakuren; geen extra praktikumfaciliteiten wat betreft materialen en lokalen)
- * het normale eindexamen komt aan bod/dus geen eigen examen.

Ik wil op dit laatste punt even wat nader ingaan.

Het project is van begin af aan opgezet om vanuit het vak natuurkunde een bijdrage te leveren aan het realiseren van een driejarige verlengde brugperiode mavo-havo-vwo.

Omdat we geen eigen eindexamen hebben, moest wat betreft het kurrikulum in klas 2 maar zeker in klas 3 rekening worden gehouden met de bestaande leerstoflijst voor het eindexamen.

Andere redenen om voor de basisstof de traditionele leerstof als uitgangspunt te nemen, waren meer van strategische aard:

1. wij wilden een geleidelijke gewenning aan gedifferentieerd onderwijs mogelijk maken. Als hierbij zowel de inhouden als de werkvormen drastisch worden gewijzigd, is het gevaar reëel aanwezig dat dit veel leraren te ver gaat en zij de overstap niet aandurven;
2. het ontbrak de vakgroep aan mankracht. In feite was er steeds 1 full-time kracht beschikbaar voor dit projekt.

Belangrijk kenmerk van het projekt in het samenwerkingsverband

- * plenaire bijeenkomsten (V.U.; leraren) waar alle beslissingen werden genomen op het gebied van model, inhoud en revisie van lesmateriaal;
 - * het ontwikkelen van lesmateriaal en toetsen gebeurde vooral voor 2, 3 hv en 2 mhv samen met leraren. Voor 3 m en 4 m gebeurde dat in mindere mate.
- De leraren hebben zich uiteindelijk verenigd in de Ver. DBK-na, met een eigen verenigingsblad. Dan ga ik nu over tot het meer inhoudelijke deel van mijn lezing wat betrekking heeft op het thema van deze konferentie. Hoe leren leerlingen natuurkunde bij de DBK-methode?

2. Leerlingen leren door het praktikum natuurkunde

Zoals al eerder gezegd neemt het leerlingpraktikum in de basisstofperiode een centrale plaats in. Ook in de differentiële periode wordt veel praktikum gedaan en dan vooral in de extrastof.

Wat waren voor ons belangrijke argumenten om het praktikum in de onderbouw voor natuurkunde zoveel nadruk te geven:

- * de leraren hebben de indruk dat praktikum motiverend werkt. De leerlingen vinden het afwisselend, gezellig en prettig om samen te kunnen werken. Ze werden ook in de gelegenheid gesteld dingen zelf uit te zoeken;
- * het praktikum is minder formeel. Leerlingen kunnen zelf ervaren wat het meten van een spanning inhoudt, zelf omgaan met lampjes en lenzen, karretjes, rietjes en veel eenvoudig materiaal;
- * de nadruk komt in dit deel van ons natuurkunde-onderwijs meer te liggen op het proces. Niet slechts het resultaat is van belang, maar ook de manier waarop het tot stand komt.

(leer)psychologische theorie geeft aan dat praktikum het leerproces stimuleert.

Piaget : de overgang van een concreet niveau → formeel niveau
(voorwerpgebonden) (mentaal)

Russische

psychologen : via materiële handelingen —————> mentale handelingen
(beginnen aan objecten) (interioriseren)

Landou : je leert door met praktikum problemen op te lossen;

Bruner : via problemen en praktisch onderzoek zelf komen tot de oplossing geeft betere leerresultaten.

De karakteristieken van het praktikum zijn:

- * het gaat aan de theorie vooraf. Er wordt nagenoeg geen theorie aangebracht zonder dat daar een praktikum aan vooraf gaat. De theorie is meer een samenvatting van de belangrijkste bevindingen uit het praktikum;
- * het gaat vaak om een aantal kortdurende experimenten, waarbij in de eerste helft van klas 2 de nadruk ligt op waarnemen, meten, tabellen maken, diagrammen maken en in een later stadium het accent meer verschuift naar voorspellen, formules afleiden of grafisch een relatie bepalen;
- * het moet haalbaar zijn binnen een lesuur;
- * er wordt eenvoudig en gangbaar praktikummateriaal gebruikt.

Hoe wordt er nu mee omgegaan in de klas?

Natuurlijk is er geen sprake van een voorgeschreven werkwijze in de basisperiode. Maar bij de meeste leraren ziet het er globaal aldus uit:

- korte introductie van het blok
- de leerlingen aan het werk met praktikumblad 1 (P1).
- huiswerk theorieblad 1 en werkblad 1 (T1 en W1)
- volgende les: bespreking door leraar/of onderling in groepjes
- verder met P2.

enz.

Het leereffekt van deze werkwijze is moeilijk af te schatten. De meeste (bijna 80%) leerlingen zijn echter enthousiast over het praktikum bij natuurkunde, omdat ze zelf bezig zijn met andere leerlingen samen.

3. Videofragment van praktikumles over elektriciteit

- 2e klas hv, blok 7 aan het einde van de cursus
- aandachtspunten: voorbereiding, in samenwerking met de amanuensis
 - .organisatie/discipline
 - .kontrolle leraar minder/grotere eigen verantwoordelijkheid van leerlingen
 - .leraar als begeleider
 - .groepswerk (samenstelling; voortgang)

1. Diskussie en vragen

Leerlingen leren gedifferentieerd natuurkunde

Laten we eerst even terugkijken naar het BHE-model.

Doel van de F-toets is het opsporen van leemten in de kennis en vaardigheden bij de leerling. Het gaat hier om een formatieve evaluatie met als doel het onderwijs-leerproces bij te sturen. Zo'n toets is opgebouwd uit de subtoetsen, die elk voor zich betrekking hebben op een bepaald herhaalblad. Maakt een leerling 70% van de items in zo'n subtoets goed dan spreken we van beheersing van de basisstof op het leerstofonderdeel. Bij geen beheersing vindt verwijzing naar de herhaalstof plaats.

Karakteristieken van de herhaalstof

- * geen letterlijke herhaling maar op een andere wijze bezig zijn met de basisstof;
- * sterk gestructureerd - de bladen zijn vooral voor de 'zwakke' leerlingen;
 - ze moeten eventueel thuis gedaan kunnen worden;
 - de leraar kan niet voortdurend begeleiding geven.
- * voorzien van antwoordbladen. De leerling kan zijn eigen antwoord controleren, vergelijken met mede-leerlingen en pas in de laatste instantie de leraar inschakelen.

70% Van de leraren vindt dat de 'zwakke' leerlingen door de herhaalstof worden geholpen

75% Vindt de moeilijkheidsgraad over het algemeen goed, maar slechts

50% geeft te kennen dat de begrippen meestal echt op een andere manier worden behandeld.

Van de leerlingen geeft 65% te kennen de basisstof beter te gaan begrijpen na het doen van de herhaalstof. De herhaalstof wordt als onderdeel van het gekozen differentiatiemodel door hen zeer gewaardeerd.

Hoe verandert het beheersingsniveau na de differentiële periode

De gemiddelde verbetering van de F- naar de S-toets is 5%. Gemiddeld over alle leerlingen uit het onderzoek en over alle blokken wordt de S-toets dus 5% beter gemaakt dan de F-toets. Dit percentage is niet hoog te noemen. Maar als we de leerlingen die hoog scoren op de F-toets (meer dan 80% van de vragen goed) even buiten beschouwing laten, is er een verbetering van 11,7% te konstateren. Vanuit de schoolpraktijk bekeken is dit goed te noemen. Daarentegen komt gemiddeld per klas één leerling die niet naar de herhaalbladen wordt verwezen, toch tot een

onvoldoende resultaat op de S-toets. Als we F- en S-toets vergelijken blijft binnen zekere grenzen gemiddeld 57% van de leerlingen stabiel in resultaat, verbetert 31% zijn resultaat en gaat 12 % van de leerlingen achteruit.

Karakteristieken van de extrastof

- * de extrastof is bedoeld voor die leerlingen die niet behoeven te herhalen. Maar er zijn al veel leraren die de d.p. zo lang maken dat alle leerlingen toekomen aan extrastof;
- * de extrastof mag niet vooruitlopen op de basisstof van komende blokken;
- * er is een grote variatie aan onderwerpen, werkvormen, verschillen in lengte en structuur;
- * leerlingen moeten zelf kiezen op grond van informatie uit een extrastof-katalogus;
- * de extrastof kan een rol spelen binnen de determinatie en zelfdeterminatie in klas 3 havo/vwo en klas 2 havo/vwo.
Leerlingen die overwegen om natuurkunde te kiezen kunnen op het spoor van de zgn. 'verdiepingsbladen' worden gezet.

De leerlingen leren anders in de differentiële periode

- * ze werken meestal samen in kleine groepjes. De meeste groepjes zijn met andere onderwerpen bezig;
- * ze moeten veel zelfstandig uitzoeken, de leraar is niet altijd ter beschikking;
- * ze moeten vaak zelf voor materiaal zorgen of het halen voor in de klas of in het kabinet;
- * ook de controle van het werk kan aan de leerlingen gedelegeerd worden. Zo kan de leerling zelf besluiten of zij een extrastofblad wil afronden met een toets;
- * de leerlingen zijn actief op verschillende niveau's. De verbredingsbladen zijn vooral kwalitatief gericht en meer concreet. De verdiepingsbladen gaan nader in op onderwerpen uit de basisstof. Het werken met grafieken, formules en ingewikkelde experimenten krijgt in deze bladen een plaats.

Over de kwaliteit van de extrastof lopen de meningen van de leerlingen uiteen.

Een van de belangrijkste punten van kritiek is het gebrek aan structuur bij veel extrastofbladen. Het zelfstandig werken van leerlingen aan deze bladen verloopt niet soepel en maakt de begeleiding van de leraar tot een tamelijk zware taak. Maar bijna 70% van de leerlingen zou willen dat er meer tijd was voor extrastof. En vooral de jongens en leerlingen in het vwo geven te kennen dat je van de extrastof veel kunt leren.

Ik heb nu nog enige tijd over waarin ik U wil laten kiezen tussen:

1. Video-opnamen bekijken over de d.p. met aansluitend zo mogelijk discussie en vragen.
2. Het lesmateriaal van klas 3 hv bekijken en daarover discussie en vragen stellen.

Onderzoek naar probleemoplossend gedrag van leerlingen
bij het vak natuurkunde in klas 3 mavo

V.U. - Adam

A. Miedema

Binnen het projekt DBK-na wordt gebruik gemaakt van een zogenaamde formatieve toets waarmee leemten in kennis en vaardigheden worden opgespoord. Fouten die in de F-toets naar voren komen, worden toegeschreven aan een gebrekkige kennis van het blok.

Het is natuurlijk maar de vraag of die aanname gerechtvaardigd is en of niet andere oorzaken aan te wijzen zijn voor een onvoldoende prestatie op die diagnostische toets.

Om informatie te verzamelen rond deze problematiek is onderzoek gedaan naar de wijze waarop leerlingen toetsvragen oplossen. Er zijn daartoe een groot aantal hardopdenkprotokollen opgenomen en geanalyseerd. De resultaten van dat onderzoek zullen worden besproken, terwijl een aantal voorbeelden van de uitgewerkte protokollen uitgebreid bestudeerd zullen worden. Daarna is er gelegenheid tot discussie.

'meisjes en natuurkunde'

Open discussie over: Hoe bevorderen we dat meisjes natuurkunde leren?

Th. à Kempis College, Zwolle

C. Drukker



Een aantal uitspraken die in deze discussie werden gedaan worden hier gerangschikt naar onderwerp, in het kort weergegeven.

1. Verschillen jongens-meisjes.

- De invalshoek voor jongens is anders dan voor meisjes, jongens zijn meer op techniek gericht, meisjes zijn meer op biologie gericht.
- Waarom zouden meisjes iets moeten doen waar ze geen zin in hebben? Waarom zouden ze geen leuke creatieve dingen doen? Jongens zou geweest moeten worden op leuke dingen.
- Meisjes doen naast schoolse dingen nog veel andere dingen erbij. Jongens richten zich meer op één ding.
- Jongens vluchten in het vak.
- Er zijn al weinig meisjes die natuurkunde kiezen. Ze denken dan: dit is niet zo leuk. Laat ik iets anders doen. Ze hebben snel de neiging van pakket te veranderen (natuurkunde eruit). Daar willen wij aan gaan werken.
- Jongens kiezen natuurkunde uit statusoverwegingen. Jongens zijn meer op beroep-status gericht.
- De image van het vak is voor meisjes negatief:
 - vraagstukken;
 - niet creatief;
 - heel veel huiswerk;

Dit image zou beter kunnen worden door:

- creatieve kant natuurkunde naar voren halen
- geen sommencultuur/cultus
- maatschappelijk relevante zaken in natuurkunde

2. Identifikatie.

- Meer vrouwen moeten natuurkundelerares worden.

3. Adviezen:

- docenten moeten meer stimulerende adviezen geven aan meisjes
- decanen schijnen vaak mannen te zijn
- invloed decaan: ze verwijzen meisjes vaak naar "verzorgende beroepen".

4. Rolpatronen:

- vrouwen/meisjes worden vaak over het hoofd gezien.
- aan jongens worden vaak hogere eisen gesteld.
- meisjes apart bij elkaar zetten bij praktikum.
- met hele kleine stapjes kunnen we iets veranderen.
- meisjes worden vaak geholpen in de les vanuit de gedachte "ze is zwakker".
- meisjes helpen is prettiger: ze reageren plezieriger, jongens reageren vaak minder plezierig.
- meisjes stellen zich onzekerder op;
jongens hebben meer het idee: "ik moet dat kunnen".
- meisjes moeten leren te vechten om zelf het volgende stapje te kunnen doen. Ze moeten meer gemotiveerd worden.
- het oordeel van vriendjes is ook belangrijk.
- docenten moeten zich bewust worden c.q. leren wat hun rol is
(Zie P. Jungbluth).

meisjes en natuurkunde

TV banden, gemaakt in het MENT-project, tonen aspecten van hoe meisjes natuurkunde leren

T.H.Eindhoven

M. Lensink

De deelnemers aan de werkgroep bekeken de TV-band, die gemaakt is binnen het MENT-project van de vakgroep didaktiek Natuurkunde van de T.H. Eindhoven. (MENT= MEisjes, Natuurkunde en Techniek).

Het MENT-project van de vakgroep didaktiek natuurkunde van de Technische Hogeschool Eindhoven heeft als doel bij te dragen in het wegnemen van de achterstand, die meisjes hebben bij het onderwijs in natuurkunde en techniek. In het MENT-project ontwikkelt men een aantal voorbeeld-lessenpakketten, die meisjesvriendelijk zijn. Ook wordt er materiaal vervaardigd dat gebruikt kan worden bij discussies over het reduceren van deze achterstand van meisjes.

De band werd in drie delen getoond.
Na ieder deel werd gediscussieerd.

Deel 1

Leerlingen voeren in groepjes van twee opdrachten uit.

Aan een meisje en een jongen of aan twee meisjes werd gevraagd enkele opdrachten uit te voeren:

- het afmeten van een hoeveelheid water, water verwarmen, temperatuur aflezen;
- het vertalen van een stukje Engelse tekst in het Nederlands;
- een stekker aan een snoer zetten;
- een kapotte fietsband plakken.

Aan de deelnemers van de werkgroep werd gevraagd vooral te letten op de manier waarop de leerlingen met elkaar samenwerkten.

In de discussie kwamen de volgende reacties naar voren:

- bij het uitvoeren van de opdrachten door een jongen en een meisje neemt meestal de jongen de leiding;
- dit leidingnemend gedrag is onafhankelijk van de aard van de opdracht; bij het vertalen schrijft meestal het meisje op wat de jongen dikteert; de jongen monteert de stekker, waarbij het meisje ook af en toe de schroevendraaier mag vasthouden;
- de meisjes nemen geen initiatief en stellen zich onzeker op;
- bij het uitvoeren van opdrachten door twee meisjes is de situatie anders; er is meer overleg en er ontstaat een goede samenwerking; zij voelen zich minder onzeker;
- het verschil in aanpak tussen jongens en meisjes is soms heel subtiel; wel aanwezig, maar niet altijd overduidelijk.

Opmerking:

De samenwerking tussen twee jongens is vergelijkbaar met die tussen twee meisjes. Deze beelden werden hier echter niet getoond.

De werkgroepdeelnemers zochten samen naar oorzaken:

- meisjes zijn in het algemeen meer onzeker dan jongens;
- meisjes hebben niet geleerd initiatieven te nemen, terwijl dit bij jongens juist wel wordt gestimuleerd.

Een vraag die door een aantal aanwezigen bevestigend werd beantwoord was:

Is het zo dat jongens, doordat zij meer initiatief tonen, ook meer aandacht opeisen van de docent, met het gevolg dat zij die aandacht ook krijgen?

Deel 2

Wat vinden meisjes en jongens van natuurkunde en gaan ze het wel of niet kiezen

Een interview met twee meisjes en twee jongens uit klas 2 havo/vwo over natuurkunde en het keuzeproces laat zien dat de meisjes natuurkunde moeilijk vinden en de jongens niet. Er wordt ingegaan op het feit dat dit vaker voorkomt.

Een interview met twee meisjes en twee jongens uit klas 3 vwo laat zien dat de meisjes in de vierde klas geen natuurkunde zullen kiezen en de jongens wel.

Ook hier wordt stilgestaan bij het feit dat dit een algemeen verschijnsel is.

De meisjes zijn ervan overtuigd dat zij geen natuurkunde kunnen leren. Zij halen ook lage cijfers voor dit vak.

Gevraagd naar het doen van technische en huishoudelijke karweitjes thuis, vinden zowel meisjes als jongens dat er typische vrouwen- en typische mannenkarweien bestaan.

De werkgroepdeelnemers zagen ook hierin weer een aspect van het gebrek aan zelfvertrouwen dat meisjes vaak hebben ten aanzien van natuurkunde.

De vraag is in hoeverre dit gebrek aan zelfvertrouwen mede gevoed wordt door de houding van de docent ten opzichte van die meisjes.

Deel 3

Wat vinden docenten van meisjes en natuurkunde?

Een geïnterviewde docent beschouwt het niet als abnormaal dat meisjes bij het uitvoeren van de opdrachten min of meer de hand- en spandiensten verrichten.

"Zij vinden het nu eenmaal leuk om alles netjes te noteren en ze krijgen liever geen vieze handen. Bovendien gaan ze toch later iets administratiefs doen".

Twee andere geïnterviewde docenten herkennen wel de situaties, zoals die in deel 1 en deel 2 van de band getoond worden, maar zien niet direkt wat zij zelf eraan kunnen bijdragen om iets te veranderen.

Zij zien het meer als een probleem van buiten de school.

Ook dit gedeelte van de band wekte nogal wat reacties op. Gezamenlijk werd gezocht naar manieren waarop docenten wel degelijk kunnen bijdragen aan verandering van de situatie.

Dit resulteerde in een aantal aanbevelingen:

- Probeer in de klas meer alert te zijn op situaties waarbij sexerolpatronen het gedrag van leerlingen en/of jezelf in de lessituatie beïnvloeden.
- Help mee aan het wegwerken van de onzekerheid die meisjes bij natuurkunde hebben.
- Stimuleer meisjes om meer initiatief te nemen.
- Bedenk bij het opstellen en beoordelen van toetsen dat deze vaak in het nadeel van meisjes werken: door onzekerheid zijn meisjes soms minder geneigd tot trial and error antwoorden.
- Probeer als docent natuurkunde positief betrokken te zijn bij de vakkenpakketkeuze van meisjes.

het leren aanpakken van problemen

een struikelblok in natuurwetenschappelijk onderwijs

T.H. Twente

A. Pilot

Het toepassen van begrippen en verbanden in natuurwetenschappelijke en technische opgaven en opdrachten is moeilijk; de student heeft moeite het te leren, de docent heeft moeite zijn lessen zo in te richten dat het resultaat vooral inzicht en weinig 'trucs' oplevert. Ook in het TH-onderwijs, waar ik onderwijs geef en help voor te bereiden, is het leren toepassen van natuurwetenschappelijke vakken een belangrijk struikelblok.

Om een (ook kwalitatieve) verbetering van dit onderwijs te bewerkstelligen, hebben we ons gericht op het leren methodisch oplossen van dergelijke, inderdaad vaak complexe problemen. In het vervolg zullen we dit steeds aanduiden met de algemene term 'leren probleem-oplossen', waarbij we ons in dit artikel beperken tot het leren oplossen van problemen in natuurwetenschappelijke vakken.

Tovermiddelen zijn ook voor het verbeteren van dit onderwijs niet beschikbaar, maar wel is de afgelopen jaren met enig succes gezocht naar manieren om studenten te leren hoe ze vraagstukken op *een methodische manier* moeten aanpakken. Daarover gaat deze conferentie-bijdrage, die gebaseerd is op onderwijs en ontwikkelingswerk aan verschillende vakken op de TH Twente en daarbuiten (zie de literatuurlijst).

We bespreken onze ervaringen aan de hand van drie kernpunten:

- docenten moeten expliciet en zo volledig mogelijk aangeven welke denkstappen leerlingen moeten zetten bij het (leren) oplossen van de betreffende opgaven
- een leerling, die de opgaven op een goede manier oplost, moet van de vakinhoud slechts een klein, maar essentieel gedeelte gebruiken
- oefening in het aanpakken van opgaven is noodzakelijk; zelf doen (onder begeleiding van de docent) is niet te vervangen door méér uitleg, weer voordoen of andere vormen van frontaal onderwijs.

Methodisch aanpakken van vraagstukken

Laten we eerst eens naar het methodische aspect kijken. Ook in het verleden hebben veel docenten aandacht geschonken aan de methode van werken. Zij gaven studenten aanwijzingen als: Lees de vraag zorgvuldig! Denk aan een analoog probleem! Controleer je antwoord! enz. Om studenten voldoende hulp te bieden moeten deze aanwijzingen de kans op succes aanmerkelijk vergroten; ze moeten zijn ingepast in de totale oplossingsproces. Vooral de cruciale stappen moeten tamelijk volledig worden aangegeven om ervoor te zorgen, dat de student ze ook zal uitvoeren en niet zo maar wat gaat proberen. Aanwijzingen moeten echter ook weer niet zo gedetailleerd zijn, dat hele reeksen van oplossingsregels ontstaan, want dat zou al snel gaan lijken op het inzichtloos leren van trucs.

Een voorbeeld van aanwijzingen, die enerzijds algemeen zijn en anderzijds vakspecifiek, staat in figuur 1 en betreft het analyseren van Thermodynamika vraagstukken.

Figuur 1: Aanwijzingen voor het analyseren van gegevens en gevraagde in Thermodynamika-vraagstukken.

- a. Teken het systeem, teken systeemgrenzen
- b. Noteer de kenmerken van de systeemgrenzen (w , q , $dni=0$)
- c. Noteer de kenmerken van de systeeminhoud (fase, ideaal gedrag, aard v.d. stof)
- d. Noteer de kenmerken van de toestanden (P , V , T , andere toestandsgrootheden)
- e. Noteer de kenmerken van de processen (reversibiliteit, toestandsgrooth. konstant? procesgrooth. nul? Chem. reactie?)
- f. Noteer de kenmerken van de overige gegevens (gebruik korrekte symbolen)
- g. Maak zonodig een grafiek (om een beter beeld van een proces te krijgen)
- h. Noteer de kenmerken van het gevraagde mathematische formulering)
- i. Maak een schatting van het antwoord (vermoedelijk teken, grootte, dimensie)

Deze aanwijzingen vormen een onderdeel van een gewenst oplossingsproces waarin we vier fasen onderscheiden:

1. Analyse van het probleem

De oplosser leest de opgave grondig en analyseert gegevens en gevraagde zorgvuldig door deze in een schema bijeen te zetten in hun vakinhoudelijke samenhang.

2. Omwerking tot standaardprobleem

Als de oplosser niet meteen de oplossing ziet, zoekt hij eerst naar mogelijk bruikbare verbanden tussen gegeven en gevraagde grootheden. Daarmee probeert hij het probleem zo om te werken, dat het gevraagde via standaardbewerking is te vinden.

3. Uitvoering van standaardbewerking.

4. Evaluatie en interpretatie.

Het verkregen resultaat wordt vergeleken met een eerder gemaakte ruwe benadering van het antwoord. Deze globale beschrijving moet voor de studenten meer in detail worden uitgewerkt om effectief te zijn. Voor een aantal vakken is dit b.v. aan TH-Twente en de HTS-Eindhoven inmiddels beproefd (lit. 1-6). Een voorbeeld van een opgave en uitwerking staat in figuur 2.

Fig. 2a: Voorbeeld van een opgave.

Fig. 2b: Uitwerking zie volgende pagina.

Een methode om hoge temperaturen in gassen te bereiken maakt gebruik van een samenpersing door middel van een explosie.

Een hoeveelheid ideaal gas ($C_V = \frac{5}{2} R$) met beginvolume V_1 wordt via een zuiger, waarachter buiten het gas een explosie teweeg wordt gebracht, adiabatisch samengeperst. Aangenomen mag worden dat de buitendruk die door de explosie op de zuiger wordt uitgeoefend constant is.

De begintemperatuur T_1 van het gas is 300 K. Bereken de eindtemperatuur als het gasvolume door de samenpersing wordt verkleind tot

a. $0,30 V_1$; b. $0,29 V_1$; c. $0,286 V_1$.

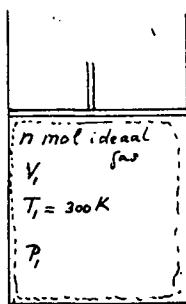
Kernbetrekkingen

Bij de behandeling van natuurwetenschappelijke vakken in kolleges, boeken en diktaten worden allerlei formules, wetten, diagrammen enz. afgeleid en toegelicht. In het algemeen gaat het hierom kwantitatieve relaties. Een student die de vraagstukken goed (d.w.z. methodisch) oplost, moet van die relaties slechts een klein, maar essentieel gedeelte gebruiken. De student moet bovendien zodanig toegang hebben tot de onderdelen van de vakinhoud, dat hij in probleemsituaties (snel) kan selekteren welke relaties (verder betrekkingen te noemen) geldig en relevant zijn en welke niet. Dit kan worden bereikt door de studenten per vakinhoudelijk onderdeel overzichten van '*kernbetrekkingen*' te laten maken. Hierbij moet hij beslissen welke betrekking tot de kern van het vak behoren en welke bij uitstek geschikt zijn voor het toepassen van het vak. Vervolgens kan hij nagaan hoe de kernbetrekkingen optimaal in een overzicht zijn te structureren voor het latere zoekproces. Ook uit oogpunt van het leren studeren is het gewenst, dat de student dat zoveel mogelijk zelf doet. Om het onthouden van en zoeken naar kernbetrekkingen en hun geldigheidsvoorwaarden te vergemakkelijken moet het aantal zo beperkt mogelijk zijn.

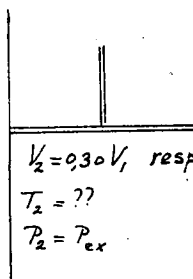
De geïnventariseerde kernbetrekkingen en hun geldigheidsvoorwaarden worden op zogenaamde '*KB-kaarten*' gezet. De overzichten op deze kaarten geven de docent optimaal geachte structuur weer. Door frekvent gebruik zal de student langzamerhand de betrekkingen uit zijn hoofd kunnen selekteren, zodat de overzichten overbodig worden.

analyse

1. lees opgave
2. maak een schema
 - a. systeem
 - b. grenzen
 - c. inhoud
 - d. toestanden
 - e. processen
 - f. overige geg.
 - g. grafiek
 - h. gevraagde
 - i. schatting



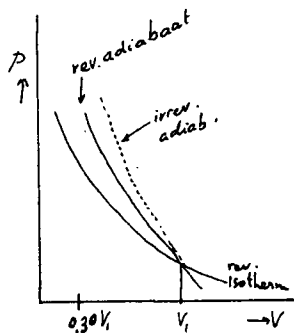
$P_{ex} = \text{konstant}$
irreversibel
adiabatisch
proces



$C_V = \frac{5}{2} R$

Gevraagd: $T_2 = ??$

Schatting: $T_2 > T_1$
in K



plan

4. selecteer kernbetrekkingen
 - a. kb-kaart
 - b. algemene kb's
 - c. uit gegevens
5. controleer geldigheid

$PV = nRT$

$dw = -P_{ex} dV$

$dU = dq + dw$

$dU = nC_V dT$

6. werk om tot standaardprobleem

- a. gevraagde
- b. kb waarin gevraagde
- c. specificeren
- d. nieuwe onbekenden
- e. nieuw startpunt

7. indien niet oplosbaar

- a. zoek andere betrekkingen
- b. voer hulproces in
- c. scheid variabelen
- d. doe aanname

3. formuleer standaardprobleem

$T_2 \rightarrow PV = nRT \rightarrow P_2 V_2 = nRT_2$ nieuwe onbekenden: P_2, V_2 en n
 $V_2 = 0,30 V_1$ " " : V_1
 $V_1 \rightarrow PV = nRT \rightarrow P_1 V_1 = nRT_1$ " " : n, P_1

tussenstand:
 $T_2 = \frac{P_2 V_2}{nR} = \frac{P_2 \cdot 0,30 V_1}{nR}$
 $= \frac{P_2 \cdot 0,30 \cdot nRT_1}{nR \cdot P_1} = \frac{P_2 \cdot 0,30 T_1}{P_1}$

Andere betrekking met T_2 : $dU = nC_V dT \rightarrow \Delta U_{12} = nC_V (T_2 - T_1)$ nieuwe onbek. ΔU_{12} en n

$\Delta U_{12} \rightarrow dU \rightarrow dU = dq + dw \rightarrow \Delta U_{12} = W_{12} \rightarrow$ nieuwe onbek. W_{12}

$W_{12} \rightarrow dw \rightarrow dw = -P_{ex} dV \rightarrow W_{12} = -P_2 (V_2 - V_1)$

$n \rightarrow PV = nRT \rightarrow P_1 V_1 = nRT_1$

invvoerend: $nC_V (T_2 - T_1) = -P_2 (V_2 - V_1) = -\frac{P_1 T_2}{0,30 T_1} \left(\frac{nRT_2}{\frac{P_1 T_2}{0,30 T_1}} - \frac{nRT_1}{P_1} \right) = -nRT_2 + nR \frac{T_2}{0,30} = nRT_2 \left(\frac{1}{0,30} - 1 \right)$

$\frac{5}{2} (T_2 - T_1) = T_2 \left(\frac{1}{0,30} - 1 \right) \rightarrow$ st. probleem.

$\frac{5}{2} (T_2 - T_1) = T_2 \left(\frac{1}{0,29} - 1 \right) = 2,4483 T_2$ (analoog aan a)

$\frac{5}{2} (T_2 - T_1) = T_2 \left(\frac{1}{0,286} - 1 \right) = 2,4965 T_2$

uitwerking

8. reken standaardprobleem uit

$\frac{5}{2} (T_2 - T_1) = T_2 (3,333 - 1) = 2,333 T_2 \rightarrow T_2 = \frac{2,500}{0,167} T_1 = 4500 K$

b) $T_2 = \frac{750,0 K}{0,0517} = 14500 K$

c) $T_2 = 214500 K$

De temperatuur loopt zeer sterk op, daarmee ook P_2 .
Wat gebeurt er bij $V_2 = 0,25 V_1$??

9. controleer de uitkomst

- a. teken
- b. grootte
- c. dimensie

indien nodig
10. spoor fouten op

Fasegewijze oefenen

Ook als de studenten adekwate aanwijzingen krijgen voor het oplossingsproces, is het (zo heeft de ervaring geleerd) nog maar de vraag of ze daar iets mee doen. Studenten hebben zich al min of meer een eigen manier van oplossen aangeleerd in voorgaand onderwijs en zijn niet erg bereid om die in te wisselen voor een meer methodische aanpak. Zeker in het begin is daarvoor immers *extra inspanning* nodig. Om deze moeilijkheden zo goed mogelijk op te vangen is het oefenproces gesplitst in een aantal fasen, die we nu in grote lijnen zullen beschrijven. De denkstappen uit het gewenste oplossingsproces moet de student steeds op een bepaalde manier oefenen.

In de eerste fase werkt hij daartoe de vraagstukken uit in een zo *konkreet* mogelijke en dus goed *kontroleerbare* vorm, bijvoorbeeld op papier of op het bord, zonder daarbij onderdelen over te slaan.

Als hij de nieuwe denkstappen in deze vorm beheerst, kan hij overgaan naar de volgende fase, waarin hij de behandeling verbaal uitvoert door bijvoorbeeld hardop te denken. Doet de student ook dit zonder fouten, dan kan hij vervolgens naar de '*mentale fase*', waarin hij het probleem voor zichzelf denkend oplost. Tijdens dit leerproces wordt steeds het principe gehanteerd, dat de student terug moet gaan naar de voorafgaande fase, zodra hij fouten maakt. Immers een fout geeft aan dat hij te snel naar de volgende fase van het leerproces is overgegaan. Tijdens deze *fasegewijze oefening* moet er niet alleen een verandering plaatsvinden het het 'werken op papier' naar het 'mentaal uitvoeren' van denkstappen. De student moet ook leren de denkstappen *snel* en *verkort* uit te voeren. (Een voorbeeld van 'verkorting' bij het leren autorijden is: de handelingen bij linksaf slaan - in de spiegel kijken, richtingaanwijzer uitsteken, snelheid verminderen en voorsorteren - gebeuren in het begin afzonderlijk achter elkaar, maar worden later als het ware in één handeling gelijktijdig uitgevoerd.) Verder moet de student leren de denkstappen *in verschillende situaties* toe te passen.

Het voordeel van dit fasegewijze oefenen is voor de student dat hij in de eerste fase van allerlei denkstappen de samenhang en de toepassingen grondig leert kennen. Voor de docent heeft deze procedure het voordeel dat hij gemakkelijker terugkoppeling kan geven, omdat hij goed kan zien welke denkstappen de student doet.

Onderwijsvorm

De vraag is hoe men onderwijs kan ontwerpen dat er maximaal toe bijdraagt, dat het hiervoor beschreven leerproces wordt gerealiseerd. Hiertoe staat een groot aantal verschillende onderwijsprocedures en -materialen ter beschikking. Om daaruit de meest effectieve combinatie te kiezen gebruiken we het begrip '*onderwijsfunctie*'.

We onderscheiden vier hoofdfuncties, namelijk:

- aanbrenge van de oriënteringsbasis
- fasegewijze oefening
- toetsing
- terugkoppeling van de toetsing.

Deze functies zijn afgeleid uit de belangrijkste fase van het leerproces en onder te verdelen zoals in figuur 3 is aangegeven.

Uit het voorgaande volgt dat ons uitgangspunt bij het ontwerpen van onderwijs is, dat het meest effectieve onderwijs die combinatie van procedures en materialen bevat, die de bovenstaande onderwijsfunctie het beste vervult. Bij het zoeken naar de juiste combinatie is het belangrijker, dat een bepaalde functie wordt vervuld dan in welke vorm dat gebeurt. Daarom wordt zoveel mogelijk gekozen voor die onderwijsprocedures waarin de betreffende docenten al ervaren zijn. Dat maakt de kans op vervulling van alle onderwijsfuncties het grootst.

Figuur 3: Overzicht van relaties tussen de fasen van het leerproces en de functies van het onderwijs.

| Fasen van het leerproces | Functies van het onderwijs |
|--|---|
| 1. leren van de voorwaarden voor het gewenste oplossingsproces | <i>aanbrengen van de oriënteringsbasis</i> 1. behandeling van de Thermodynamika om de essentiële vakelementen en vakspecifieke denkhandelingen te presenteren 2. toegankelijk maken van deze kennis-elementen en denkhandelingen 3. systeem van aanwijzingen geven voor het aanpakken van problemen 4. aansluiting bij het beginniveau van de student realiseren 5. de student inzicht geven in het vereiste eindniveau. |

| | |
|---|---|
| 2. leren uitvoeren van het gewenste oplossingsproces | <i>fasegewijze oefening</i> 6. laten oefenen van denkhandelingen en hun samenhang 7. geven van terugkoppeling tijdens het oefenen |
| 3. inzicht krijgen in het bereikte leerresultaat | <i>toetsing</i> 8. nagaan welk leerresultaat is bereikt en vaststellen of dit voldoet aan de norm |
| 4. verbeteren van fouten in het feitelijke oplossingsproces | <i>terugkoppeling na de toetsing</i> 9. indien beneden de norm: wegnemen van de oorzaak van de fout |

In de praktijk is het leren uitvoeren van het gewenste denkproces als volgt gerealiseerd: in werkkolleges wordt na een korte introductie individueel geoefend in groepen van ongeveer 20 studenten. De docent loopt rond, controleert de voortgang, geeft vakinhoudelijke en methodische aanwijzingen en geeft uitleg indien dit nodig is. Hij vermijdt daarbij de studenten voor te doen hoe de vraagstukken moeten worden opgelost, omdat zij volgens de fasegewijze oefenprocedure alle handelingen zelfstandig moeten uitvoeren. Met behulp van de overzichten van kernbetrekkingen en het stelsel van aanwijzingen lukt dat meestal ook wel. Daarnaast is er de mogelijkheid te overleggen met medestudenten. Het maken van vraagstukken gebeurt op *speciale werkbladen* (zie figuur 2) om ervoor te zorgen dat de studenten het gewenste oplossingsproces uitvoeren op de wijze, die voor de eerste fase is ontworpen. Bovendien stelt dit de docent in staat sneller en duidelijker te zien waarmee de student bezig is en of hij iets heeft vergeten of fout heeft gedaan. Bij het begeleiden let de docent op de overgang van de ene fase naar de andere, en daarbij vooral op de verkortingen in het oplossingsproces.

Resultaten

In dit artikel kan slechts een summier overzicht worden gegeven van de resultaten van het experimentele onderwijs. Een meer volledige beschrijving staat in het eindverslag van het project (lit. 2).

1. Leerresultaten van studenten.

De leerresultaten in de vorm van de *gemiddelde tentamencijfers* van de kursussen volgens de nieuwe opzet zijn significant beter dan die van de voorafgaande kursussen. Bij het vergelijken van deze resultaten zijn statistische technieken gebruikt, waarbij is gecorrigeerd voor verschillen in VWO-eindexamencijfers van de studenten in de afzonderlijke jaren en voor de verschillen in tentamenmoeilijkheid. In figuur 4 staat een overzicht van de gemiddelde tentamencijfers van de kursussen Warmteleer en Thermodynamika om een indruk te geven van de verbetering in de leerresultaten.

Ook is nagegaan wat de leerresultaten waren in termen van soorten *fouten in het oplossingsproces*. Daarbij is bijvoorbeeld gebleken dat het percentage opgaven, waarbij door een student niets werd opgeschreven, daalde van 18% naar 5%.

| | Thermodynamika | | | | | Warmteleer | |
|--------------------|-----------------------|------|--------------------------------|------|------|--------------------|-----------------------------|
| | <i>oude kursussen</i> | | <i>experimentele kursussen</i> | | | <i>oude kursus</i> | <i>experimentele kursus</i> |
| | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1975 | 1977 |
| gemiddeld cijfer | 5,8 | 5,7 | 6,9 | 6,1 | 7,3 | 5,9 | 7,5 |
| standaard-deviatie | 1,6 | 1,9 | 1,7 | 1,9 | 1,8 | 2,0 | 1,8 |
| aantal studenten | 19 | 43 | 32 | 52 | 53 | 50 | 61 |

Figuur 4: Overzicht van gemiddelde tentamencijfers voor beide kursussen.

2. Tijdsbesteding van studenten.

Het tijdsbestedingsonderzoek geeft enige indicaties, dat aan de nieuwe kursussen niet meer tijd is besteed dan aan de oude kursussen. Deze konklusie is zo voorzichtig gesteld omdat het percentage studenten dat deelnam aan dit tijdsbestedingsonderzoek in een aantal kursussen slechts weinig meer dan 50% was.

3. Tevredenheid van studenten en docenten.

De studenten zijn over het algemeen zeer tevreden. Meer dan 80% wil de opzet van het werkkollege doorgevoerd zien in andere soortgelijke kursussen. De nieuwe onderwijsmiddelen, die karakteristiek zijn voor de nieuwe onderwijsopzet, worden over het algemeen nuttig tot zeer nuttig gevonden.

De docenten zijn tevreden met de nieuwe cursus: Zij vinden het vooral van groot belang dat de studenten zelfstandig werken aan de vraagstukken.

Literatuur

1. Het oplossen van natuurwetenschappelijke vraagstukken, Faraday, okt. 1980, dec. 1980, febr. 1981.
2. C.T.C.W. Mettes en A. Pilot, Over het leren oplossen van natuurwetenschappelijke problemen. Proefschrift/CDO-rapport 42, Enschede (TH Twente), 1980.
3. J.H.P. van Weeren, H. Kramers-Pals, F.F.M. de Mul, M.J. Peters en H.J. Roossink, Projekt Electriciteit en Magnetisme, Het leren oplossen van vakspecifieke problemen, eindverslag. CDO-rapport 49, Enschede (TH Twente), 1982.
4. G.J.J. de Jong en L. de Zwart, Eindverslag Mechanikaprojekt. CDO-rapport 52, Enschede (TH Twente, CDO), 1983 (in voorbereiding).
5. H. Kramers-Pals en P.J. Wolff, Systematische probleemaanpak bij het oplossen van scheikundige vraagstukken in het MBO. Enschede-Hengelo (TH Twente HTS/SLP), 1979.
6. Skool, Verslag van activiteiten studiejaar 1981-1982, Eindhoven (HTS-Eindhoven) juli 1982.

*waarom geeft een vrije school leerkracht mechanica
in de gymzaal ?*

Vrije School - Amsterdam

W. Daub

En waarom doet hij dat in de 7e klas? Waarom geeft hij in de 9e klas feiten en nog eens feiten, en praktische kennis (hoe werkt een automotor?). Waarom behandelt hij in de 10e het systeem van Ptolemaeus én dat van Tycho Brahé én dat van Copernicus, en leest hij voor uit de Divina Commedia van Dante, en geeft hij daarna pas de wetten van Newton? Ja, waarom spreekt hij pas in die 10e - om Piagets terminologie te gebruiken - het "formele denken" aan? En hoe zit dat met die "vrijheid", bij de leerling en bij de leerkracht?

Na een korte algemene inleiding over het Vrije School onderwijs in het algemeen (periode-onderwijs, autonomie van de leraar, leeftijdsfasen, leerstof als ontwikkelingsmiddel) zal specifiek - aan de hand van o.a. bovenstaande vragen en enkele eenvoudige proefjes - op het natuurkunde onderwijs worden ingegaan. Daarna is er gelegenheid tot gesprek.

de ontwikkeling van het produktieve denken

R.U. Utrecht

J. Haenen

1. Inleiding

Het onderzoek in de Sovjetunie naar vormen van onderwijs die een bijdrage leveren aan de cognitieve ontwikkeling van de leerling, heeft de laatste jaren in het westen de aandacht getrokken. Kenmerkend voor dit onderzoek naar 'ontwikkelend onderwijs' is dat de experimentele situatie een onderwijssituatie is. In samenhang hiermee worden eveneens toetsen ontwikkeld om de beoogde leerresultaten te evalueren. Het theoretische kader van dit omvangrijke onderwijspsychologische onderzoek gaat terug op de denkbeelden van Vygotskij (1896-1934) over met name de 'onderwijsbaarheid' en de 'zone van naaste ontwikkeling' van de leerling. Vygotskij heeft de grondslag gelegd voor de cultuurhistorische school, die momenteel de meest invloedrijke is in de Sovjetpsychologie. We bespreken beknopt enige kernideeën binnen deze school (par. 2) en illustreren die aan de hand van het onderzoek naar de ontwikkeling van het productieve denken (par. 3). Dit onderzoek is interessant, omdat daarin de didactische strategie van het ontwikkelende onderwijs in verband wordt gebracht met de individuele verschillen tussen leerlingen bij de zelfstandige werving van kennis en vaardigheden (de zog. 'leergeschiktheid').

2. De cultuurhistorische school

Ten tijde van Vygotskij was het gebruikelijk het menselijk gedrag op te splitsen in het hogere en het lagere gedrag. Het lagere gedrag wordt beheerst door elementaire functies die de mens gemeenschappelijk heeft met het dier. Zintuigen en reflexen vertellen ons als het ware direct de betekenis van prikkels zonder dat daarbij een taal of denkproces nodig is. Deze lagere biologische en natuurlijke functies kunnen verklaard worden vanuit een causaal natuurwetenschappelijk model: een dier ruikt voedsel en gaat kijken, een mens is bang en gaat zweten. Het hogere gedrag daarentegen wordt beheerst door zog. cognitieve functies waarvoor taal en denken nodig is. Het psychologische begrip 'cognitie' kunnen we samenvatten als de organisatie en het functioneren van denken en kennen. Cognitieve functies liggen ten grondslag aan de menselijke vormen van activiteit zoals spraak, denken, probleemoplossen en creativiteit. Deze hogere, cognitieve functies, bijvoorbeeld nodig voor het winnen van een schaakpartij, onttrekken zich aan een causaal model. Daarvoor is een 'inlevende', 'verstehende' methode nodig.

Ook Vygotskij constateerde in de jaren twintig van onze eeuw deze boedelscheiding in de psychologie en sprak van een crisis. Hij legde zich echter niet meer bij de gangbare opvatting dat de hogere gedragsvormen alleen 'ingevoeld' en niet

'wetenschappelijk verklaard' kunnen worden. Hij zocht naar een 'derde' weg om ook de cognitieve functies wetenschappelijk te onderzoeken. Deze weg leidde naar de cultuurhistorische theorie, die we aan de hand van vier kernpunten zullen karakteriseren.

2.1. Het genetische uitgangspunt

Cognitieve functies zijn typisch menselijke gedragsvormen en worden gedragen door taal en denken. Volgens Vygotskij kunnen we deze functies alleen begrijpen door hun ontstaan (genese) te bestuderen. De psychologie moet nagaan hoe deze functies geleidelijk in de geschiedenis van de menselijke cultuur zijn ontstaan en hoe ze steeds weer door de gemeenschap aan het opgroeiende kind worden overgedragen: 'De studie van gedrag is de studie van de ontwikkeling van gedrag'. Vygotskij bedacht verschillende technieken om juist deze ontwikkeling bloot te leggen. Hij liet kinderen spelen met anderstalige of doofstomme kinderen en observeerde hoe zij in deze situatie 'communiceerden'. Hij confronteerde kinderen ook met opgaven die zij eigenlijk nog niet aankonden. Hij gaf dan hulp en keek hoe kinderen deze hulp gebruikten. Als een kind hulp aannam, bleek dit de ontwikkeling van het zelfstandig probleemoplossen te stimuleren: 'Wat een kind vandaag met hulp kan, doet het morgen zelfstandig'. Door deze hulp komen de potenties van een kind aan het licht en wordt duidelijk in welke richting het zich ontwikkelt. In de interactie en samenwerking met een volwassene ontstaat een 'zone van naaste ontwikkeling'. Juist in deze zone is Vygotskij geïnteresseerd, want daarin manifesteert zich de dynamiek van de ontwikkeling.

2.2. Cultuuroverdracht

Het begrip 'zone van naaste ontwikkeling' staat centraal in Vygotskij's visie op de ontwikkeling van het kind. Kenmerkend voor deze zone is dat zij tot uiting komt in de interactie met volwassenen. In feite is dit precies de situatie waarin een opgroeiend kind zich doorlopend bevindt. Een kind dat afgesneden is van de menselijke omgang, ontwikkeld zich niet of maar zeer ten dele tot mens. Een kind dat door omstandigheden bij dieren is opgegroeid (bijvoorbeeld de beroemde wolfskinderen) gedraagt zich als een dier en stoot dierlijke klanken uit. Vygotskij benadrukt daarom de sociale basis van de psychische ontwikkeling van het kind. Dat was in zijn tijd geen gangbare opvatting. De kinderlijke ontwikkeling werd vooral gezien als een biologisch rijpingsproces. Vygotskij kwam op grond van kinderpsychologisch onderzoek tot de conclusie dat de aard en de inhoud van de kinderlijke ontwikkeling een sociale oorsprong hebben en het product zijn van de menselijke cultuur.

Hetzelfde geldt voor de ontwikkeling van cognitieve functies in de menselijke evolutie. De ervaring die de mens als soort opdoet wordt niet, zoals bij dieren, vastgelegd in erfelijke patronen, maar in sociale patronen. Deze ervaring wordt neergeslagen in de producten van de materiële en geestelijke cultuur en van generatie op generatie overgedragen en verder ontwikkeld. De motor van dit proces is de menselijke arbeid. In gezamenlijke arbeid ontstaat de behoefte aan communicatie en wederzijdse beïnvloeding. Net zoals de mens werktuigen maakt om de natuur te beheersen, zo ontstaan in de gemeenschap ook specifieke middelen om elkaars gedrag te beïnvloeden en te sturen. Zo'n middel bij uitstek is natuurlijk taal. De middelen voor de beïnvloeding van andermans gedrag kunnen ook gebruikt worden voor de sturing van het eigen gedrag. Uit de communicatieve, sociale functie ontwikkelt zich aldus de zg. zelfregulerende functie van taal. Anders gezegd: een proces tussen mensen gaat over in een individuele functie. Vanuit de geschiedenis van de mensheid moeten we taal dus beschouwen als een sociaal produkt waarin onder meer in de vorm van begrippensystemen de ervaring van vorige generaties is neergeslagen. In de kinderlijke taalontwikkeling wordt het 'culturele erfgoed' door de gemeenschap aan het individu overgedragen. De psychische ontwikkeling van een kind is dus cultuurhistorisch bepaald, vandaar ook de benaming 'cultuurhistorische school'.

2.3. Interiorisatie

We kunnen de overgang van de communicatieve naar de zelfregulerende functie van taal ook constateren in de ontwikkeling bij kinderen. In de eerste fase na de geboorte vertoont de baby een gedragspatroon van onmiddellijk en impulsief reageren op allerlei objecten en invloeden van buitenaf. Het gedrag wordt direct opgeroepen door wat een kind ziet of hoort. In de daarop volgende peuterfase wordt het gedrag mede bepaald door de taaluitingen van anderen. Het ontdekken van de wereld wordt gestimuleerd door allerlei verbale aanwijzingen. De interactie tussen kind en ouder is een soort vraag- en antwoordspel: een dialoog. Vervolgens gaat het kind tegen zichzelf hardop zeggen wat eerst tegen hem/haar werd gezegd. De dialoog wordt monoloog. Het hardop spreken, bijvoorbeeld tijdens het spelen, begeleidt het handelen en krijgt de functie van zelfinstructie. De emotionele en communicatieve functie van taal wordt uitgebreid met de planningsfunctie. Het hardop spreken neemt geleidelijk af en gaat over in inwendig spreken, wat zich vervolgens tot denken verkort. In één zin samengevat: dialoog wordt via monoloog denken. Dit is een voorbeeld van wat Vygotskij interiorisatie noemt. Een sociale, tussenmenselijke gedragsvorm (dialoog) verinnerlijkt tot een individuele functie (denken). Dit interiorisatie-

principe is een van Vygotskij's meest vruchtbare denkbeelden en ligt onder meer ten grondslag aan de onderwijsleertheorie van Gal'perin.

2.4. Ontwikkelend onderwijs

Sociale interactie en cultuuroverdracht bepalen de ontwikkeling van een kind. Daarmee spelen opvoeding en onderwijs een essentiële rol in deze ontwikkeling. Vygotskij drukt dit uit door te spreken van de 'onderwijsbaarheid' van een kind. Onderwijs loopt vooruit op de ontwikkeling en creëert een 'zone van naaste ontwikkeling'. Een verandering van het onderwijs zal dus een ander ontwikkelingsverloop tot stand brengen. 'Ontwikkelend onderwijs' wil de mogelijkheid om de cognitieve ontwikkeling te stimuleren optimaal benutten. Dat vereist een verandering van het onderwijs, want dat niet elke vorm van onderwijs 'ontwikkelend' is, erkent men ook in de Sovjetunie. Vanuit deze gedachte zijn in de Sovjetunie een reeks onderwijsexperimenten opgezet met het doel de 'cognitieve reserves' bij kinderen te mobiliseren. Deze reserves blijken groter te zijn dan het traditionele onderwijs vermoedt. Belangrijke onderzoekers in dit verband zijn Gal'perin, Zaporozec, El'konin, Davydov, Menčinskaja, Zankov en Kalmykova. In welke zin moet het onderwijs veranderd worden, wil het 'ontwikkelend' zijn? Volgens Sovjetpsychologen moeten de leerlingen kennismaken met de denk- en werkwijzen die in de verschillende wetenschappelijke disciplines gebruikelijk zijn. Deze kennismaking is nodig, omdat de wetenschap en haar technologische toepassingen snel veranderen. De leerlingen moeten zich daarin ná het onderwijs zelfstandig kunnen oriënteren. Dit kan alleen als zij de beschikking krijgen over een kennisbezit, inclusief de vaardigheden en strategieën om dit kennisbezit operationeel te maken. Zij beschikken dan over een denkinstrumentarium dat bruikbaar is voor het handelen in probleemsituaties. Wanneer zij dit zelf ook als zodanig ervaren, wordt bij hen de instelling (motivatie) gewekt om problemen binnen het betreffende leerstofgebied aan te pakken. In experimenten met ontwikkelend onderwijs blijkt inderdaad een dergelijke probleemgerichtheid bij leerlingen te ontstaan.

We kunnen bovengenoemde doelstellingen van het ontwikkelende onderwijs samenvatten als 'leren denken'. Inmiddels zijn in de Sovjetunie verschillende methoden uitgewerkt en onderwijsprogramma's ten aanzien van deze doelstelling te evalueren. Uiteraard zien we hierbij verschillen optreden in de omschrijving van wat leren denken inhoudt. Dit kan ook niet anders, want het gaat om complexe algemene vaardigheden die zich in het hoofd van de leerling voltrekken en die slechts via 'omwegen' analyseerbaar zijn. Gemeenschappelijk aan de verschillende opvattingen is echter dat de interne processen die aan leerresultaten ten grond-

slag liggen, kwalitatief en procesmatig geanalyseerd worden. In de volgende paragraaf bespreken we de opvatting dat leren denken leidt tot productief denken en daarmee de 'leergeschiktheid' bevordert.

3. Het productieve denken

3.1. Leergeschiktheid

In de onderzoeksgroep van Menčinskaja, waarvan onder andere Kalmykova en Žujkov deel uitmaken, wordt onder meer onderzoek gedaan naar de invloed van persoonlijkheidskenmerken op het leren. Vanuit Vygotskij's opvatting van de 'onderwijsbaarheid' en de 'zone van naaste ontwikkeling' stellen deze onderzoek(st)ers dat de mate van hulp die een leerling nodig heeft bij het verwerven van nieuwe kennis één van de belangrijkste factoren in het leren is. Ze duiden dit aan met het begrip 'leergeschiktheid'. Leergeschiktheid omvat de ontvankelijkheid voor nieuwe leerstof, het volledig kunnen begrijpen en het zelfstandig kunnen toepassen ervan. Met behulp van leergeschiktheidstoetsen wordt nagegaan welke denkprocessen bij de leerlingen het verwerven van kennis bepalen en hoe groot hun zelfstandigheid daarbij is. De leerlingen krijgen opgaven voorgelegd waaruit zij in eerste instantie op eigen kracht een wetmatigheid op principe moeten afleiden. Heeft een leerling hiermee moeite, dan worden er gedoseerde normen van hulp geboden.

Leergeschiktheid is een relatief stabiel en voor het individu karakteristiek persoonlijkheidskenmerk, dat echter niet onveranderlijk is. Leergeschiktheid is in hoge mate onderwijsgevoelig. Op grond hiervan worden de ontwikkelde leergeschiktheidstoetsen zowel gebruikt om kinderen met leerproblemen op te sporen als om verschillende vormen van onderwijs te evalueren.

Volgens Kalmykova ligt het productieve denken ten grondslag aan de leergeschiktheid. Het productieve denken is een activiteit die tot nieuwe denkproducten leidt doordat de beschikbare informatie vanuit een nieuw gezichtspunt wordt bekeken, met andere informatie in verband wordt gebracht, wordt getransformeerd e.d. Het productieve denken is synoniem aan probleemoplossen, waarin aanpakgedrag en oplossingsstrategieën centraal staan. Het onderwijs wordt wel eens verweten dat aan deze probleemoplossende vaardigheden te weinig aandacht wordt besteed en dat alleen feiten, begrippen en hun relaties, principes en standaardbewerkingen (reproductieve kennis) worden onderwezen. Kortom, dat het onderwijs onvoldoende 'ontwikkeland' is.

3.2. Componenten van de leergeschiktheid

Kalmykova heeft het dynamische complex van probleemoplossende vaardigheden geoperationaliseerd in het begrip 'leergeschiktheid'. Zij maakt een onderscheid tussen algemene en specifieke leergeschiktheid. De specifieke leergeschiktheid manifesteert zich op een bepaald leerstofgebied ('wiskundeknobbel', 'taalgevoel'). Een leerling kan op verschillende gebieden een andere leergeschiktheid hebben. Daarnaast zijn er ook leerlingen die op alle gebieden ongeveer op hetzelfde niveau presteren. Dit wijst op het bestaan van een algemene leergeschiktheid. Op grond van haar onderzoek onderscheidt Kalmykova de volgende componenten van de leergeschiktheid:

1. diepte: de vaardigheid om bij nieuwe opgaven de essentiële kenmerken op te sporen (abstraheren) en vervolgens toe te passen (generaliseren) bij verwante opgaven. Tegenover deze vaardigheid of kwaliteit van het denken staat de oppervlakkigheid, die tot uiting komt als de leerling zich laat misleiden door irrelevante aspecten van de probleemsituatie.
2. flexibiliteit dynamiek of beweeglijkheid van het denken, waardoor de leerling kan afwijken van aanwezige leerervaringen en voorkennis, die niet beantwoorden aan de eisen van de betreffende probleemsituatie. Hiertegenover staat de rigiditeit van het denken.
3. stabiliteit, waardoor de leerling kan vasthouden aan een bepaald verworven inzicht. De leerling handelt volgens een bepaald plan en oriënteert zich daarbij op een systeem van relevante kenmerken. Van Parreren duidt deze kwaliteit van het denken aan als zelfsturing of veldonafhankelijkheid (tegenover veldsturing of veldafhankelijkheid).
4. bewustheid van de eigen denkactiviteit, oftewel de mate waarin de leerling deze activiteit tot object van zijn denken maakt (reflectie).
5. zelfstandigheid: de mate waarin de leerling zelf doelen kan stellen, problemen onderkent, hypothesen formuleert, plannen ontwerpt e.d. Kalmykova brengt deze kwaliteit van het denken in verband met de onafhankelijkheid voor hulp en de bijbehorende zone van naaste ontwikkeling: hoe breder deze zone, hoe groter de zelfstandigheid.

3.3. De hefboomtoets

Inmiddels zijn er verschillende toetsen ontwikkeld om de leergeschiktheid van leerlingen te bepalen. De bekendste is de hefboomtoets van Kalmykova, waarin een leerling de wetmatigheid moet ontdekken waaraan een hefboom gehoorzaamt. Volgens deze wet is een hefboom in evenwicht als het product van de kracht (g)

en de afstand (1) op de arm tussen ophangpunt en draaipunt links en rechts gelijk zijn: $g_r \times l_r = g_l \times l_l$. Er is sprake van evenwicht bij rechtevenredigheid óf omgekeerde evenredigheid tussen kracht en afstand links en rechts.

Het experiment bestaat uit drie fasen: de voor-, toets- en hulpfase. In de voorfase wordt gecontroleerd of de leerling over de benodigde voorkennis en rekenvaardigheid beschikt. De leerling wordt tevens gemotiveerd doordat de proefleider mededeelt dat de opgaven tot nu toe in de hogere klassen worden gebruikt, maar dat men wil nagaan of dergelijke opgaven ook voor de lagere klassen geschikt zijn. De proefleider benadrukt dat het niet erg is, als de leerling de opgaven niet kan oplossen. In de toetsfase krijgt de leerling zes series van vijf opgaven voorgelegd. Op de tafel staat een hefboom. In de on-even series (1-2-3) hangt de proefleider gewichten aan de hefboom, houdt het draaipunt vast en vraagt de leerling of er evenwicht zal zijn. Vervolgens laat hij het draaipunt los, zodat de leerling zijn antwoord kan vergelijken met de feitelijke situatie. In de even series (2-4) worden de opgaven doorgewerkt aan de hand van getallen op een kaartje. De leerling moet dus in beide series (1) per opgave bepalen of er evenwicht is en (2) de hefboomwet ontdekken en formuleren. De hulpfase is alleen bestemd voor leerlingen die de opgaven niet kunnen oplossen. In deze fase wordt nagegaan of dit wel lukt met hulp, gedoseerd in vier stappen.

Kalmykova nam gedurende vele jaren deze toets af bij leerlingen in de leeftijd van 8-13 jaar. Zij stuitte daarbij op twee typen van oplossingswijze. Er zijn leerlingen - door haar de 'practici' genoemd - die de opgaven afzonderlijk goed oplossen, maar die niet in staat zijn hun oplossing te beargumenteren en als een wetmatigheid te formuleren. Deze leerlingen ontwikkelen een soort intuïtie waarmee ze bij elke concrete opgave, al kijkend naar de hefboom, kunnen voorspellen of er evenwicht zal zijn. Er zijn evenwel ook leerlingen - door Kalmykova de 'theoretici' genoemd - die wél in staat zijn een verbaal-logische beschrijving van de hefboomwet te geven. Deze leerlingen ontdekken door het achtereenvolgens oplossen van concrete opgaven de algemene wetmatigheid, waarmee ze de afzonderlijke opgaven kunnen beargumenteren. Het is duidelijk dat deze vaardigheid in hoge mate bijdraagt aan het schoolsucces. Binnen deze twee categorieën van leerlingen onderscheidt Kalmykova subcategorieën en aan de hand daarvan geeft ze een kwalitatieve beschrijving van de ontwikkelingsfase van de leergeschiktheid in de onderzochte leeftijdsgroep.

Met deze methode diagnostiseerde zij kinderen met leermoeilijkheden, terwijl ze tevens de samenhang heeft aangetoond tussen de opeenvolgende ontwikkelingsfasen en de kwaliteit van het onderwijs.

4. Besluit

Na een korte bespreking van de kernideeën van de cultuurhistorische school bleek dat het onderzoek naar de relatie tussen cognitieve ontwikkeling en onderwijs geleid heeft tot de strategie van het 'ontwikkende onderwijs'. Kalmykova heeft dit verder geëxpliciteerd door te stellen dat het onderwijs rekening moet houden met de verschillen tussen leerlingen wat betreft hun zelfstandigheid bij het verwerven van kennis (de 'leergeschiktheid'). In haar opvatting ligt het productieve denken ten grondslag aan de leergeschiktheid. De leergeschiktheid is een betrekkelijk stabiel, maar tevens 'onderwijsgevoelig' persoonlijkheidskenmerk. Het onderwijs kan de leergeschiktheid bevorderen door zorg te dragen voor een adequate organisatie van de leeractiviteiten.

Literatuur

- Haenen, J.: Sovjetpsychologie. Amsterdam, Spectrum Jaarboek 1981, 1982.
- Kalmykova, Z.I.(red.): Het diagnostiseren van de cognitieve ontwikkeling van leerlingen (in het Russisch). Moskou, 1975.
- Kalmykova, Z.I.: Het productieve denken als basis van de leergeschiktheid (in het Russisch). Moskou, 1981.
- Menčinskaja, N.A.: Leermoeilijkheden als psychologisch probleem. Pedagogische Studiën, 1973, 50, 217-229.
- Parreren, C.F. van: Leren denken getoetst 2. Pedagogische Studiën, 1973, 50, 361-374.
- Timp, A., Haenen J. en Broekman, H.J.: Leergeschiktheid volgens Kalmykova. Utrecht, P.D.I., in voorbereiding.

subgroep

13

wergroepen

het vwo-bovenbouwprojekt

G.U. - Amsterdam

T. Ellermeyer

Voor ongeveer 25 belangstellenden is door een aantal deelnemers van het projekt verteld over de algemene opzet van het projekt en de bedoelingen van en ervaringen met de twee thema's die reeds enige tijd gereed zijn:

Lijfwerk en Transport.

Enkele van de speciaal voor deze thema's ontwikkelde proeven (spirometer, file-machine,.....) waren opgesteld.

De informatie en de proeven gaven een concreet beeld van het voor de meeste Woudschoten-gangers onbekendste deelprojekt van PLON.

In de discussie kwamen twee aspecten naar voren. Men had waardering en veel belangstelling voor de door het projekt nagestreefde veranderingen en de ontwikkelde materialen. Daarnaast kwam nadrukkelijk de vraag naar voren of de deelnemende scholen bij de invoering van het experimentele lesmateriaal ook een eigen eindexamenprogramma en eindexamenopgaven en eindexamenopgaven krijgen. Vanuit het projekt werd duidelijk gemaakt dat men bij de ontwikkeling van ideeën en materiaal op huidige leerstoflijst niet als randvoorwaarde heeft genomen, en dat evenals bij de andere deelprojekten van PLON ernaar gestreefd wordt om voor enige tijd experimenteerruimte op het eindexamen te krijgen.

leren in context

in de plon-cursus voor havo-bovenbouw

PLON - Utrecht

H. Eijkelhof

Leren in context is een van de belangrijke kenmerken van PLON-onderwijs. In de werkgroep werd door een van de PLON-medewerkers een korte inleiding gehouden over de mogelijkheden die het leren in context biedt voor het natuurkundeonderwijs. In dit verband kwamen aan de orde:

- a. de betrokkenheid van leerlingen bij het onderwijs vergroten door aan te sluiten bij hun interesses: hobbies, situaties uit dagelijkse leven en actuele maatschappelijke ontwikkelingen.
- b. de bruikbaarheid van natuurkunde centraal stellen: wat kun je in verschillende situaties doen met natuurkundige kennis en vaardigheden.
Voorbeelden: handelen, kiezen, meningsvorming, besparen, communiceren.
- c. de leereffecten vergroten: leren in context levert allerlei associaties op die tot een betere verankering van begrippen kunnen leiden.
- d. een visie op het vak natuurkunde bij leerlingen ontwikkelen. We denken daarbij aan de mogelijkheden en beperkingen van het vak, de samenhang met andere vakken en de relaties tussen natuurkunde, techniek en samenleving.
- e. in het natuurkundeonderwijs meer gelegenheid bieden voor leerlingen naar aanleiding van de context, bijvoorbeeld waarderen, genieten, verrassingen, herkennen, communiceren, leren van/aan elkaar.

De keuze voor het uitgangspunt van het leren in rijke contexten betekent niet dat het ontwikkelen van lesmateriaal probleemloos verloopt. In Nederland en daarbuiten bestaat nog niet zo veel ervaring met het ontwikkelen van lesmateriaal in contexten, ook al wordt door veel instanties (UNESCO, ASE, NSTA etc.) beleden dat het die kant uit moet. Enkele problemen die het PLON bij het ontwikkelen tegenkwam:

1. de goede verhouding vinden tussen natuurkunde in de bovenbouw als algemene vorming en als voorbereiding op vervolgstudies.
2. het vinden van het juiste niveau tussen triviaal en hondsingewikkeld.
3. het afgrenzen van de onderwerpen die in een thema aan bod komen.
4. het ontwikkelen van nieuwe toetsvragen die het in context geleerde dienovereenkomstig toetsen.

In de PLON-havocursus komen de volgende contexten aan bod:

1. Materiaalgebruik
2. Weer
3. Muziek
4. Verkeer
5. Machines
6. Energievoorziening en -gebruik
7. Ontwikkeling van natuurkunde en techniek

8. Lichtbronnen
9. Micro elektronica
10. Stralingsbescherming.

Tijdens het tweede gedeelte van de bijeenkomst konden de deelnemers nader kennismaken met het 5-havo lesmateriaal. Er kon worden gekozen uit de volgende activiteiten:

- a. het bekijken van een videoband over moderne versnellers;
- b. het ordenen van mesonen en baryonen via een kaartspel;
- c. het bekijken van opengewerkte chips onder een microscoop;
- d. het doen van een analoog/digitaal conversie experiment;
- e. het bekijken van een diaserie over toepassingen van ioniserende straling in de gezondheidszorg.

De voorbeelden waren genomen uit de thema's Materie, Elektronica en Ioniserende Straling. Dit zijn thema's waarvan de eerste versie in het schooljaar 1981/82 is gereedgekomen. In 1983 wordt gewerkt aan een versie van de 4-havo thema's, terwijl de 5-havo thema's in 1984 aan de beurt zijn.

Dit verslag is uiteraard zeer beknopt. Nadere inlichtingen kunnen worden verkregen bij de medewerkers van het PLON, Postbus 80.008, 3508 TA Utrecht, tel. 030 - 532717.

meer dan jezelf zijn in de klas

PLON - Niels Stensencollege Utrecht

B. Pelupessy

In onderwijssituaties wordt veel aandacht gegeven aan het ontwikkelen van het rationele kennen, het taalvermogen en het analyserende denken.

Nonrationele bewustzijnsvormen als intuïtie, fantasie en creativiteit, worden in onderwijssituaties nauwelijks ontwikkeld.

Aandacht voor deze laatste bewustzijnsvormen vereist een specifieke manier van het begeleiden van leerprocessen bij leerlingen.

Psychosynthese levert een aantal technieken voor het verruimen van nonrationele bewustzijnsvormen. Deze technieken zijn in de klassesituaties zeer goed uitvoerbaar.

In deze werkgroep kan je kennismaken met enkele van deze technieken. In de werkgroep worden de technieken 'uitgenprobeerd' en vervolgens besproken.

De werkgroepbegeleider heeft een opleiding psychosynthese gevolgd en probeert nu in zijn onderwijs elementen uit psychosynthese in te bouwen.

natuurkunde met leerlingen

MAVO- project

A. de Jager, P. Heyting, P. Hillebrink, R. vd. Hoogen, L. de Ruijter, J. Schipper



LEERPSYCHOLOGISCHE AANNAMEN

Om natuurkunde te begrijpen is het o.i. belangrijk dat fysische begrippen gestadig worden ontwikkeld. Begripsvorming is een langdurig proces dat zich over meerdere jaren uitstrekt.

- Allereerst gaat het erom dat de begrippen een rijke inhoud krijgen waaraan steeds nieuwe aspecten worden toegevoegd.
- Pas daarna wordt het van belang door nauwkeurige omschrijving, verschillende begrippen van elkaar te gaan onderscheiden. Als voorbeeld noemen we: een onderscheid tussen de begrippen hoeveelheid, volume, inhoud, massa, gewicht zal in de loop der jaren ontstaan, omdat er in het denken met deze begrippen behoefte aan ontstaat.
- In derde instantie worden de begrippen geordend in een samenhangend begrippenkader.

ALGEMENE KENMERKEN VAN ONS ONDERWIJS IN DE ONDERBOUW

Concentrisch natuurkunde-onderwijs

Elk leerjaar worden alle onderwerpen aan de orde gesteld. In de tweede klas worden ook "Electriciteit" en "Licht" behandeld, in de derde klas "Beweging". In de tweede klas ligt de nadruk op oriëntatie, verkenning. In de derde klas worden verbanden onderzocht en beschreven. In de vierde klas wordt afgerond tot een samenhangend geheel.

Differentiatie

Onderwijs moet niet alleen mogelijk maken met verschillen tussen leerlingen rekening te houden, het wil ook deze verschillen benutten. Leerlingen kunnen uiteenlopende activiteiten doen. Doordat verschillende ervaringen worden uitgewisseld en opvattingen worden uitgesproken, kunnen leerlingen elkaars denkbeelden aanvullen.

Natuurkunde voor iedereen

Concentrische leerstofopbouw en differentiatie binnen (juist) heterogeen samengestelde leerlingengroepen maakt het mogelijk (vrijwel) alle leerlingen aan te spreken. Niet alle leerlingen hoeven even ver te komen, volgend jaar komt een onderwerp weer opnieuw aan de orde. Niet alle leerlingen hoeven hetzelfde te doen. Wellicht dat daardoor meer leerlingen kunnen worden gemotiveerd.

Pas in de loop van een eindexamenjaar moeten leerlingen voorbereid zijn op voor hen allen gelijke eisen.

NATUURKUNDE-ONDERWIJS IN DE VERSCHILLENDE LEERJAREN

- Voor de tweede klas achten we het van belang dat leerlingen zelf blijven onderzoeken en daarmee opgedane ervaringen voor zichzelf trachten vast te leggen. Het bedrijven van natuurkunde stellen we boven het leren over natuurkunde. Leerlingen wisselen ervaringen uit, zoeken naar mogelijkheden deze te verwoorden. Ze vernemen de zienswijze van een ander en kunnen daardoor anders gaan kijken. Voorbeelden en associaties hoeven niet beperkt te zijn tot het aanbod van de leraar of leerboek. Integendeel we kunnen de context door leerlingen en met leerlingen uitbreiden.
- In de derde klas worden door leerlingen relevant geachte grootheden met elkaar in verband gebracht. Geput kan worden uit rijke, maar nog ongeordende ervaringen, o.a. in de tweede klas opgedaan. Van leerlingen wordt gevraagd hypothesen op te stellen waarna gericht onderzoek kan volgen. Dat onderzoek gebeurt aan de hand van onderzoeksvragen (operationele vragen). I.p.v. vragen beginnend met "Waarom", worden vragen geformuleerd in de zin van "Wat gebeurt er als..". Begrippen worden ontwikkeld in relatie tot elkaar. Dit maakt het noodzakelijk nieuwe begrippen in te voeren en begrippen van elkaar te onderscheiden. Middels presentaties informeren de leerlingen elkaar en gaan met elkaar in discussie. De beschrijving van de natuurkundeverschijnselen kan nog informeel gebeuren, als in de klas communicatie maar mogelijk blijft.
- In de vierde klas wordt de kennis uit voorgaande jaren geordend tot een samenhangend geheel. Die samenhang kan gevonden worden in het fysische model van de werkelijkheid, waarbinnen het mogelijk is vraagstukken te formuleren, die een groot aantal fysische begrippen aan elkaar relateren. Samenhang kan ook gevonden worden binnen de studie van een thema (b.v. Energie), waar natuurkundige begrippen verschijnen in relatie met het dagelijkse leven. In beide gevallen wordt de leerweg zó gekozen dat uitgegaan wordt van voorstellingen die leerlingen reeds hebben. Verklaringen gaan steeds uit van hun gedachtengang, door reflectie daarop worden regels en formules opgesteld (van concreet naar formeel). Uiteindelijk moet dit ook leiden tot fysisch juist taalgebruik.

DOCENT ALS BEGELEIDER VAN EEN LEERPROCES

Voorvoemde onderwijsinrichting vraagt van docenten een andere aanpak, die bovendien per leerjaar andere accenten kent. De docent is vooral begeleider van een leerproces. Hij is wegbereider voor de leerlingen en geeft globaal de richting aan. De docent zal zich vooralsnog minder bekommeren om fysisch juiste leerresultaten.

Voor de tweede klas betekent dat dat de docent

- leerlingen uitdaagt en stimuleert
- leerlingentaal hanteert en accepteert
- zich natuurkundig inhoudt, niet op alle slakken zout legt en weinig zelf aanvult
- aanvaardt dat leerlingen minder ver komen dan voorgaande jaren
- er vrede mee heeft dat leerlingen veel dingen half weten i.p.v. de helft helemaal
- leerlingen stimuleert tot het maken van eigen aantekeningen, passend in hun eigen gedachtengang
- ervaringen van leerlingen verrijkt door ze te laten uitwisselen.

In de derde klas vragen wij de docent dat hij

- ruimte geeft voor natuurkunde als praatvak
- luistert naar leerlingen en met hun gedachtengang zo ver mogelijk meegaat
- leerlingen in staat stelt presentaties te geven
- veel klassediscussies houdt
- met leerlingen operationele vragen ontwikkelt
- zelfregulatie bevordert door aan te sturen op momenten van zinvolle verwarring
- bewegingsbeschrijvingen aan de orde stelt.

In de vierde klas kan de docent leerlingen helpen natuurkundekennis zelfstandig aan te wenden. Dit kan door toepassing op problemen vanuit de samenleving, zoals b.v. in een energiediscussie. In examenklassen, zoals 4-Mavo, ligt dit vaak moeilijk. Centrale examens nopen de docent veel tijd te besteden om leerlingen af te richten tot oplossen van gekunstelde opgaven (examentraining).

Toch biedt het schoolonderzoek mogelijkheden tot toepassing van natuurkundekennis op reële problemen. Docenten moeten dan echter wel die mogelijkheden aangrijpen. D.w.z. dat zij geen oude CSE-opgaven in hun SO stoppen en andere toetsvormen gebruiken.

Daarbij denken we aan:

- het maken van werkstukken
- uitvoeren van praktische opdrachten, eventueel gecombineerd met verslaggeving en mondeling SO
- uitvoeren van zelfstandige onderzoekjes
- het uitzoeken van wat grotere problemen, waarbij boeken en aantekeningen kunnen worden gebruikt
- opdrachten aan groepjes leerlingen.

ANDER MATERIAAL

Om het onderwijs te ondersteunen hebben wij gemeend ook nieuw lesmateriaal te moeten samenstellen. Daarbij golden de volgende uitgangspunten:

- . Deel I voor de tweede klas moeten stimuleren tot eigen onderzoek, het zou leerlingen nieuwsgierig moeten maken. Het bevat dan ook een grote serie leerlingactiviteiten. Uitkomsten en antwoorden zijn niet in het leerlingenboek opgenomen. Wat blijft er voor een leerling nog te onderzoeken als de antwoorden reeds in het boek zijn opgenomen? Het boek blijft een hulpmiddel voor de docent om samen met de leerlingengroep een ontwikkelingsproces, een ontdekkingsreis, zo men wil, door te maken. De uitkomsten van dit leerproces kunnen teruggevonden worden in aantekeningen die leerlingen voor eigen gebruik maken. Aan de leerlingactiviteiten, die in het algemeen met eenvoudige middelen kunnen worden uitgevoerd en eventueel ook als huiswerk kunnen worden gedaan, zijn meestal vragen toegevoegd. Deze vragen betreffen eigen ervaringen of stimuleren tot nader onderzoek.
- . In deel II voor de derde klas komen alle onderwerpen weer een keer aan de orde. De voorstellingen die leerlingen hebben opgedaan uit de tweede klas worden opgepakt, via een herhaling. Zo wordt een gemeenschappelijk vertrekpunt vastgesteld. Ook de inleidende onderzoeken worden veelal door iedereen gedaan. Verdergaande onderzoeken geven keuzemogelijkheden. Begrippen en theorie, waarvan wij verwachten dat ze in het onderwijsleerproces zijn ontwikkeld, worden beknopt weergegeven. Er zijn enige opgaven en vraagstukken toegevoegd. Als bijzonderheid vermelden we het hoofdstuk "Beweging", waarin bewegingsbeschrijvingen aan de orde komen, als voorbereiding op "Mechanica".
- . Deel III voor de vierde klas bevat herhalingen uit de 2e en 3e klas, biedt een samenvatting van voorgaande theorie en breidt deze uit. Voor de Mavo gaat deze theorie zover, dat alle stof voor het Mavo-D-examen is opgenomen en bovendien wordt afgerond met enige examenvraagstukken.

Behalve de examenstof bevat het boekje "Energie" een thema uit natuurkunde en samenleving en zijn veel toepassingen opgenomen in de vorm van gebruiksvoorwerpen en apparaten.

DISCUSSIE

In de discussie kwam naar voren dat om leerlingen uit te dagen een zeker vertrouwen, zo men wil, durf nodig is. Bezorgdheid van docenten kan hen daarvan weerhouden. De zorgen betreffen dan veiligheid, natuurkundige juistheid en de examendruk.

Met name de vraagstukken vragen uitgebreide training. Als we daar nu eens van verlost werden!

didactisch programmeren

R.U. Utrecht

F. Harekes, F.E. van 't Hult



In deze keuzeactiviteit is aandacht besteed aan het vertalen van een stukje dialoog (tussen leraar en leerling) in een computerprogramma. Centraal stond daarin het opsporen en reageren op fouten die leerlingen maken. Een aantal van deze fouten kun je voorzien en daarvoor reacties in je programma inbouwen.

Als voorbeeld werd gekeken naar het volgende probleem (figuur 1):

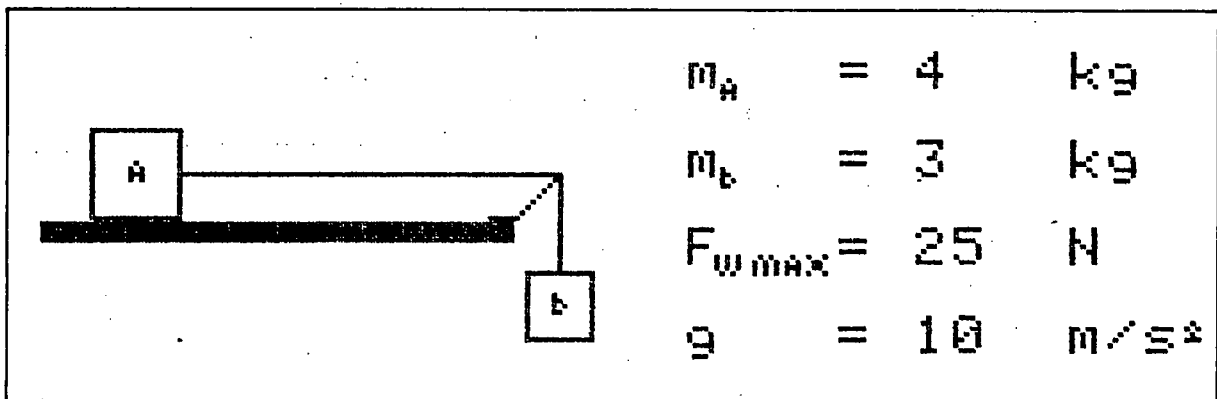


fig.1: De tekening van het probleem.

Massa A en massa b zijn met elkaar verbonden door een massaloos koord, dat over een gladde pen loopt. Massa A staat op een ruw oppervlak.

Een van de opdrachten is het uitrekenen van de versnelling als de groottes van massa A, massa b en de maximale wrijvingskracht gegeven zijn (zodanig dat de massa's gaan bewegen).

Indien het antwoord van de leerling fout is wordt gecontroleerd of er een bepaalde fout gemaakt is. Bijvoorbeeld kan de wrijvingskracht of massa A vergeten zijn. Op deze verwachte fouten wordt gericht gereageerd.

Is het antwoord fout, maar komt het niet overeen met een verwachte fout, dan worden er een aantal hulpvragen gesteld. Zodoende kan de leerling toch op de juiste versnelling uitkomen.

Dit reageren op antwoorden van leerlingen is schematisch weergegeven in figuur 2. Met behulp van een Random Generator (in de microcomputer) worden de noodzakelijke gegevens voor de vraag bepaald. De leerling geeft een antwoord op de gestelde vraag. Door een snelle zoekroutine wordt gecontroleerd of het antwoord goed of fout is. Het snel zijn van de zoekroutine is noodzakelijk voor het

onmiddellijk kunnen reageren op het gegeven antwoord.

Is het antwoord goed, dan kan de leerling met het volgende probleem verder. Bij een fout antwoord wordt gecontroleerd (in de zoekroutine) of er een bekende (= verwachte) fout gemaakt is. Is dit het geval dan kan de leerling via een hint op het juiste spoor gezet worden.

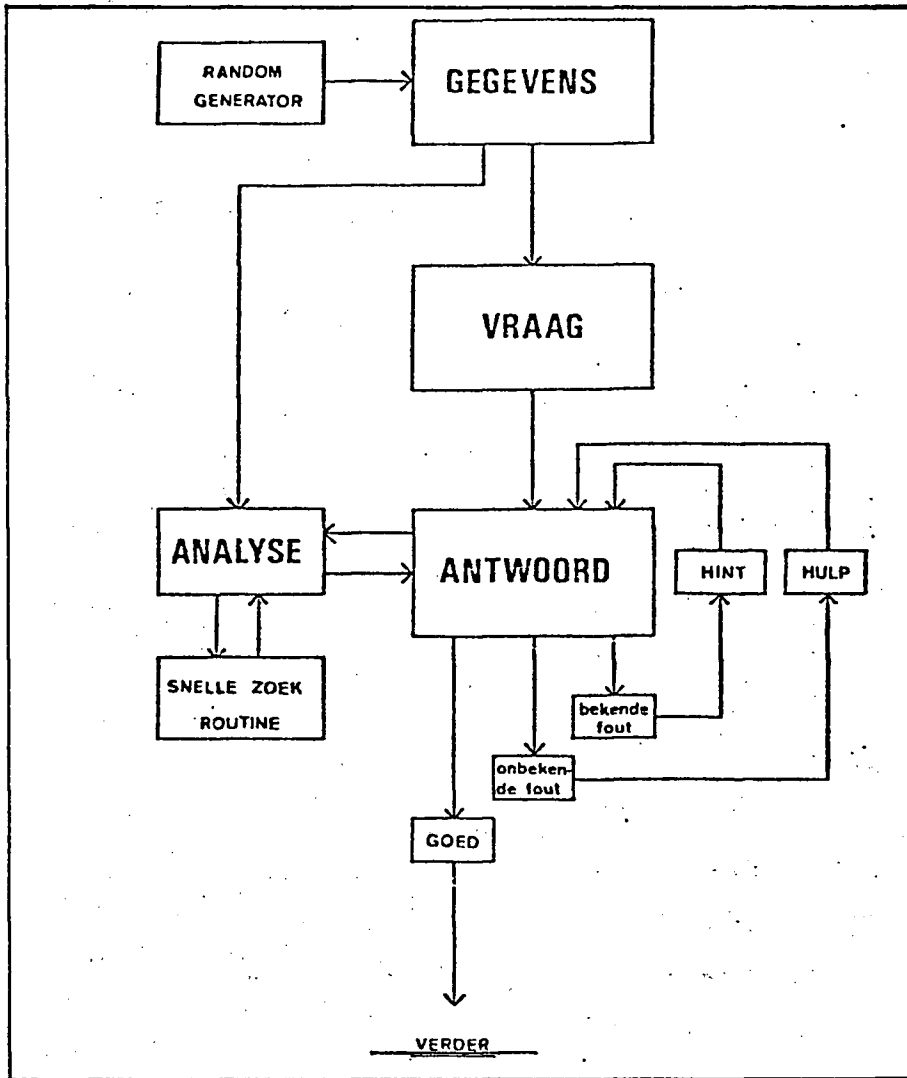


fig. 2: Schematische weergave van een dialoog

Wordt er een fout antwoord gegeven waarmee niets gedaan kan worden, dan wordt er extra hulp geboden zodat de leerling toch tot het juiste antwoord komt.

natuurkunde leren via het oplossen van zinvolle problemen

K.U. Nijmegen

J.M. Beltman

"Zo ik ooit al aan de toekomst dacht, dan droomde ik ervan eens een school te stichten waar jonge mensen konden leren zonder zich te vervelen, waar ze gestimuleerd werden problemen te opperen en te bediscussiëren. Een school waar men niet behoefde te luisteren naar antwoorden op vragen die men nooit gesteld had, waar men niet studeerde om examens te halen."

Karl R. Popper

(uit zijn autobiografie)

Bewering Leren gaat des te effectiever en plezieriger naarmate een leerling de leerstof meer waardeert.

Vraag Kan een 15-jarige waardering opbrengen voor leerstof zoals *wet van Ohm, elektrische weerstand, afhankelijkheid van de weerstand van een draad van lengte, oppervlak van de doorsnede, soort materiaal en temperatuur?*

Antwoord Misschien waardeert een 15-jarige deze leerstof wanneer de wet van Ohm, etc. in de natuurkunde les tevoorschijn komen als antwoorden op vragen welke hem/haar boeien.

Wat voor vragen kunnen dat zijn?

Misschien vragen waarmee mensen als Morse en Edison werden gekonfronteerd bij het realiseren van hun ideeën voor een elektrische telegraaf, resp. elektrisch verlichtingssysteem.

In de subgroep NATUURKUNDE LEREN VIA HET OPLOSSEN VAN ZINVOLLE PROBLEMEN wordt verslag gedaan van een poging om de fysica van elektrische stroomkringen te onderwijzen door leerlingen (3VWO) problemen te laten oplossen waarmee ze gekonfronteerd worden bij het realiseren van een elektrische telegraaf en een elektrisch verlichtingssysteem. De fysica komt tevoorschijn in de oplossingen van deze problemen.

leerstofproblemen opsporen met behulp van piaget

R.U. Utrecht

P.L. Lijnse , D. van Genderen

LEERSTOFPROBLEMEN OPSPOREN MET BEHULP VAN PIAGET

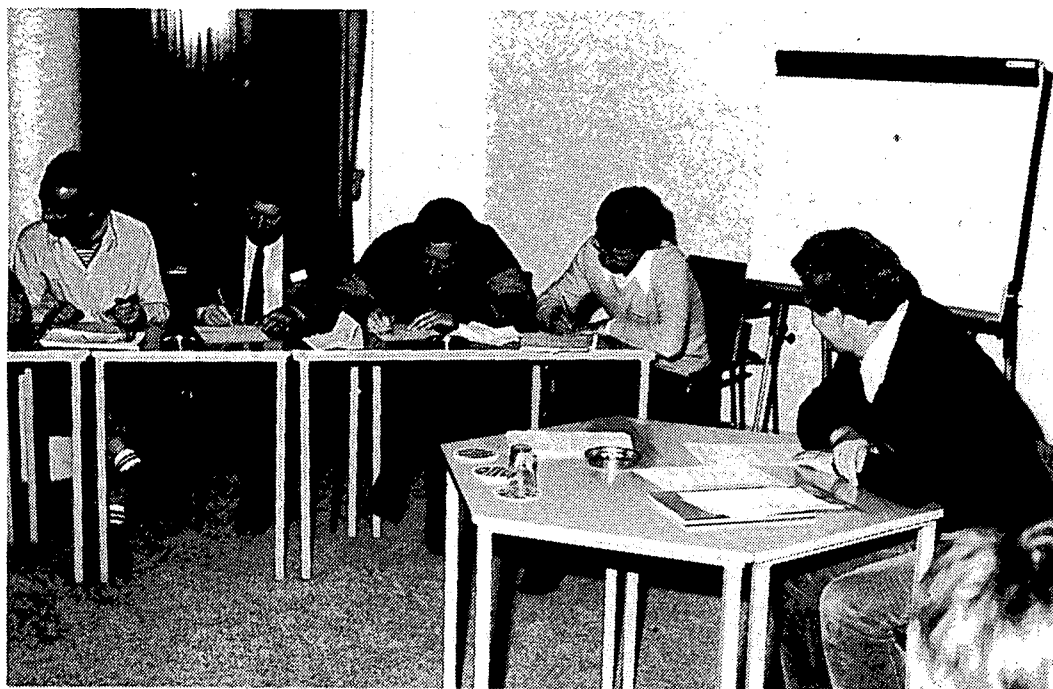
Uitgaande van de theorie van Piaget hebben medewerkers van het engelse Concepts in Secondary Mathematics and Science Programma instrumenten ontwikkeld om zowel leerlingen als leerstof eenvoudig te kunnen klassificeren volgens de door Piaget onderscheiden ontwikkelingsstadia. Hierover zal kort iets worden verteld.

Daarna zal met één van deze instrumenten, de Curriculum Analysis Taxonomy, geoefend worden in het analyseren van een stukje leerstof. Daarbij gaat het om de vraag of deze C.A.T. inderdaad een goed hulpmiddel is voor leraren, bij het opsporen van mogelijke leerproblemen van leerlingen.

het oplossen van natuurkundevraagstukken met behulp van
een heuristiek ; ervaringen van leerlingen

St. Bonifatiuscollege - Utrecht

J. Lommen



Het maken van vraagstukken is voor veel leerlingen nogal problematisch. Zij weten vaak niet goed hoe ze het beste te werk zouden kunnen gaan, waar ze moeten beginnen, hoe ze de beschikbare theoretische kennis kunnen gebruiken, hoe ze kunnen nagaan wat de waarde is van het antwoord dat ze uiteindelijk vinden. Ook komt het regelmatig voor dat ze wel een eind op de goede weg zijn, maar dan niet meer weten hoe ze verder moeten gaan. Als de leraar dan de juiste oplossing uitlegt is hun reactie vaak: 'Oh ja, natuurlijk; dat ik daar niet aan gedacht heb'. Het lijkt erop dat er maar een kleine stap nodig om met de beschikbare theoretische kennis de juiste oplossing te vinden. Zijn er nou geen aanwijzingen of hulpmiddelen aan die leerlingen te geven waardoor zij die stap vaker zelf en zonder hulp van buiten af zouden kunnen zetten? Misschien is het wel enkel een kwestie van techniek, misschien kan een goed uitgekiende en inge oefende heuristiek de vonk doen overspringen? Ik heb leerlingen uit 4 havo een tijdlang zo'n heuristiek laten gebruiken en hun vorderingen en ervaringen genoteerd. Ook een heuristiek is geen wondermiddel, maar er zitten aantrekkelijke kanten aan.

Om het gebruik van de heuristiek succesvol te laten verlopen moeten er een aantal dingen in acht genomen worden. De belangrijkste aandachtspunten zijn:

1. De leerling moet een helder begrip hebben van wat het betekent om met een heuristiek te werken. Waar de expert uit een enkel woord herkent om welk soort strategie het gaat (waarschijnlijk werkt hij al min of meer of die manier), ziet de onervaren probleemoplosser slechts een vage, welhaast nutteloze suggestie. Het geven van enkele voorbeelden is niet voldoende. De leerling moet in veelsoortige situaties de strategie leren gebruiken, hij moet er training in krijgen en regelmatige feedback. Een zorgvuldige en grondige oefening is noodzakelijk bij het leren uitvoeren van het gewenste handelingsverloop.
2. Voorwaarde voor succes is ook het voorbeeld van de leraar: Hij moet een systematische zoekgedrag demonstreren. Waarschijnlijk is zulk voorbeeldgedrag de meest effectieve manier om een soortgelijke aanpak bij de leerlingen te initiëren en in stand te houden.
3. Om de heuristiek te kunnen toepassen moet de leerling de stof, de inhoud van het betreffende vakgebied, voldoende beheersen.
4. De leerling moet er ook aan denken om de heuristiek te gebruiken. De vraag is niet zozeer of een bepaalde regel het gedrag van de expert-oplosser goed beschrijft, maar of de leerling het gevoel heeft er wat mee te kunnen doen. Anders zal hij al gauw vergeten dat de regel gebruikt zou kunnen worden. De regels moeten in de ogen van de leerling realistisch zijn. Er moet voor-

komen worden dat de heuristiek kunstmatig is: gewone vraagstukken uit het boek moeten er snel genoeg mee kunnen worden opgelost. Abstract formalisme moet vermeden worden, zeker in het begin.

5. Selectie van voorbeelden om de waarde van de heuristiek te demonstreren is van viraal belang voor het onderwijsproces. Zij dienen om de leerlingen te overtuigen van het belang van heuristisch werken, en om de manier van omgaan met een heuristiek te demonstreren.

Wat mogen we nu verwachten van het gebruik van heuristieken?

Mettes en Pilot (zie literatuurverwijzing) trekken de volgende conclusies uit hun onderzoek:

- Het oplossen van natuurkundevraagstukken is voor onderwijs en leren vatbaar. Daarbij kan een zinvol gebruik gemaakt worden van leerstofschema's en heuristieken.
- Leerlingen worden door een gestructureerde aanpak beter gemotiveerd en gaan ook betere prestaties leveren.
- Het leren systematisch oplossen van vraagstukken vraagt een behoorlijke inspanning van docenten, maar zij ervaren dat niet zo zwaar omdat ze het werk prettiger vinden.
- Ook de studenten zijn zeer tevreden. Zij hebben ook niet meer tijd in hun werk gestoken dan anders. Door het systematisch aanpakken van de vraagstukken konden de studenten ook beter hun eigen studieproblemen lokaliseren.

Eventueel te raadplegen literatuur:

Faraday 1980, blz. 157-164 en 197-202

1981, blz. 5-10.

deel 3

markt en evaluatie

EVALUATIE

In dit laatste gedeelte van het verslag willen we proberen een indruk te geven van de mening van de congresdeelnemers over Woudschoten 1982.

We hebben natuurlijk niet met iedereen kunnen praten en ook niet alles bij iedereen systematisch nagevraagd. We pretenderen dan ook niet volledig of uitputtend te zijn, maar hopen wel dat onze indruk herkenbaar is.

In elk geval was het prettig te merken dat iedereen, ondanks de vele interessante gesprekken die men ongetwijfeld te voeren had, toch bereid bleek op onze vragen in te gaan, en sommigen zelfs spontaan naar ons toekwamen om hun mening te geven.

ALGEMENE INDRUK

'Woudschoten' had dit jaar een vol programma: 6 lezingen, 21 werkgroepen en de markt. Naast het volle programma was het ook menselijk gezien een volle bak, 330 deelnemers, een record!

Ondanks de economische crisis en de algemene malaise was het dus voor veel mensen mogelijk om naar de Leeuwenhorst in Noordwijkerhout te komen, al kostte het sommigen van ons wel veel moeite vrij te krijgen om op tijd aanwezig te kunnen zijn.

Voor één was het echter onmogelijk om naar Noordwijkerhout te komen getuige het volgende:

Spjkenisse 23-12-1982

Geachte Heer Crétton,

Misschien een komische noot voor het "Woudschotenverslag" ?

"Toen ik om half drie in Noordwijkerhout uit de auto stapte scheurde mijn broek open. Om half vier was ik weer in Spjkenisse, omkleeden en terug, maar - - in dein Haag een verbrande koppeling. Om half acht was ik opnieuw thuis (met de takelwigen)."

Gelukkig vernam ik telefonisch van U dat de gestorte fso weer terugkomt. Ik zou dit kaartje schrijven als herinnering.

Met hartelijke dank,
|||lll| —

Door het volle programma moest er vrij snel gegeten worden en was er geen tijd voor gezellig natafelen. Ook tussen de lezingen en de werkgroepen door was er weinig (voor velen véél te weinig) tijd om met collega's en bekenden te praten. Sommige mensen wilden liever 'actief' bezig zijn (b.v. meer werkgroepen) dan naar lezingen te luisteren. Vooral op een vrijdagmiddag is het, na een zware werkweek, moeilijk om geconcentreerd naar een groot aantal lezingen te luisteren. Er was vrij veel kritiek op het gebruik van audio-visuele hulpmiddelen door sommige sprekers. Ondanks deze kritische noten vond men het echter een goed georganiseerde conferentie.



DE LEZINGEN

1. Van Parreren: Begrippen en werkwijzen in het natuurkunde-onderwijs, beschouwd vanuit de psychologie.

De mening over deze lezing was wisselend, van: "weinig nieuws" tot "bij een aantal dingen wist ik niet waar hij het over had". Waarschijnlijk kwam deze mening voort uit een zeer heterogene beginsituatie van de congresdeelnemers t.a.v. het onderwerp. Wel unaniem was men van mening, dat het een goed (soms snel) lopend verhaal was, waarin een aantal leerpsychologische begrippen op een rijtje werden gezet. Het werd (ondanks de warmte in de zaal) als een opwarmer ervaren, die je een kader voor de rest van de conferentie bood.

Met name het onderscheid in 3 oplosmethoden (algoritme, heuristiek en trial and error) werd als zinvol gezien.

Er waren ook mensen (die zichzelf als "doe-ers" karakteriseerden) die het toch te vaag en te algemeen vonden: Wat kun je er nu mee? Weer anderen vonden het te fragmentarisch.

2. Molenaar: Natuurkunde-onderwijs en cognitieve ontwikkeling van leerlingen.

Sommigen vonden dat een heel frappant licht geworpen werd op de discrepantie tussen de denkwereeld van de leraar en de denkwereeld van de leerling, wat zij zeer praktijkgericht ervoeren. Voor anderen bevatte de lezing informatie die aan hen al grotendeels bekend was.

Mede door de wat zwakke presentatie kon men i.h.a. wat moeilijk de aandacht bij deze lezing houden. Met name waren de beelden van de video niet goed te zien en was het geluid slecht te verstaan. Door deze technische onvolkomenheden werd de aandacht ook van de inhoud afgeleid. Een aantal congresgangers vond dat het op de video gebaseerde betoog te zeer een eigen leven leidde.

3. Van den Berg: Het leren maken van natuurkunde-vraagstukken.

Een duidelijk verhaal, maar ook een globaal verhaal. Het was alsof allerlei dingen die je eigenlijk al wel wist nu eens in een duidelijke context op een rij geplaatst werden. Zo werd je gedwongen je eigen lessen eens kritisch te gaan bekijken.

Voor velen was al het gecijfer over leerresultaten van een bepaald model minder interessant, zij hadden liever nog meer voorbeelden en toelichting van de methode zelf te horen gekregen. De meesten vonden het verhelderend om een stencil uitgereikt te krijgen hoewel de redenaar volgens anderen daarmee z'n kruit grotendeels verschoten had.

4. De Vos: De kleinkinderen van Aristoteles.

Een goede, boeiende lezing was de algemene mening, met leuke voorbeelden ter illustratie. Als positief werd vooral ervaren, dat de redenaar startte vanuit de kant die je herkent. Dit vond men prettiger dan bijvoorbeeld een start vanuit de psychologische kant.

De lezing zette aan tot denken over beelden van leerlingen van begrippen hoe die kunnen ontstaan en wat onze (leraren-)begrippenkaders voor invloed hebben.

5. Hogenbirk en Wierstra: Leren met en leren van het PLON.

Uit gesprekjes na de lezing bleek dat het PLON bij velen een gevoelige snaar raakt.

De mensen die enthousiast zijn over het werk van het PLON, droegen dat enthousiasme ook uit in hun mening over de lezing.

De groep mensen, die wat 'neutraler' tegenover PLON staan, hadden wat moeite met de presentatie. Men miste een duidelijke lijn en vond het getallenmateriaal moeilijk interpreteerbaar, men betreurde dat het geheel niet méér uitgenodigd had tot enthousiasme voor het PLON.

Bij mensen die niet zo pro-PLON zijn, bleek de lezing irritaties op te roepen. Men vindt dat het PLON teveel op alle goede dingen in het onderwijs het PLON-etiket plakt.

6. Lockhorst: Handelingen, tekeningen, taal (practicum, wat leert een kind daarvan).

De geboeide zaal, een ovationeel applaus aan het einde van de lezing lieten aan duidelijkheid niets te wensen over: een super-voordracht.

DE WERKGROEPEN

De meesten waren heel positief over de werkgroepen die zij bezocht hebben. Het was zeker een waardevol bestanddeel in de conferentie. Dat de informatie thuis gestuurd werd vond men heel zinvol. In sommige werkgroepen bleek het wat anders toe te gaan dan men op basis van de geschreven informatie had verwacht maar dat is bijna nergens als hinderlijk ervaren.

Het was leuk een werkgroep te volgen die voortborduurde op een lezing, zo werd een zekere verdieping van een item bereikt.

DE MARKT

Het was leuk om allerlei nieuwe apparaten, ideeën en vondsten gedemonstreerd te zien. In het algemeen had men er best meer tijd willen doorbrengen. Sommigen deden dat ook wel, tot diep in de nacht.

Er waren nogal wat mensen, die vonden dat er (te) weinig rekening werd gehouden met het budget van de scholen (wellicht volgend jaar low-budget artikelen?).

WENSEN VOOR DE TOEKOMST

Het onderwerp van deze 'Woudschoten'-conferentie werd door de deelnemers erg interessant gevonden. De meesten hadden echter wel ideeën en wensen voor komende conferenties. Enkele conferentie-thema's zouden kunnen zijn: Natuurkundeonderwijs, Meisjes en natuurkunde en Kernbewapening of Vredesonderwijs. Een onderwerp als microcomputers ligt zéér gevoelig: één deel van de mensen vindt dat dit onderwerp voor een conferentie moet zijn, één deel komt absoluut niet zoals ze nu reeds aankondigen.

Ook waren er velen onder ons die thema's met als gemeenschappelijke noemer "het examen" voorstelden, zoals: Wat zijn de (verborgen (?)) doelstellingen in eindexamens? Bepaalt het eindexamen je leerstofkeuze?, Wat weet een leerling met een 8 voor zijn eindexamen nu van b.v. massa?

Een andere wens van vele deelnemers was om meer dan 2 werkgroepen te kunnen volgen. "Er zijn zoveel interessante werkgroepen dat het moeilijk is om er twee uit te kiezen" zei een deelnemer. Ook werd er voorgesteld om elk jaar, als een soort rode draad, 1 of 2 werkgroepen over de aanpak van een concreet stuk leerstof te houden. Je kan dan met anderen over je eigen aanpak van dat stuk leerstof van gedachten wisselen en nieuwe ideeën opdoen.

Mieke Brekelmans
Siebren Groothuis
Michael de Kort
Bas van Poppel

