

WOUDSCHOTEN

'91

WERKEN

met de
WEN

**VERSLAG
WOUDSCHOTEN CONFERENTIE
1991**

WERKGROEP NATUURKUNDE-DIDACTIEK

**Ornsteinlaboratorium
Princetonplein 1
3584 CC Utrecht
Tel.: 030-531179**

Bestuur:
Voorzitter: H.M.C.Eijkelhof
Penningmeester: A.J.C.D.Holvast
Leden: M.Bollen
F.Budding
J.W.Lackamp
G.Munters
T.Solomaniuck
P.J.Wippoo

Verslag
Redactie: H.M.C.Eijkelhof, J.W.Lackamp, Th.Wubbels
Typewerk/layout: J.Andriese
Foto's: A.Moes
Omslag: O.M.I.-Utrecht

Voorwoord

Voor u ligt het verslag van de Woudschotenconferentie 1991. Op het moment dat de conferentie werd gehouden waren alle VWO-scholen ongeveer halverwege de route naar de eerste reguliere WEN-examens in mei 1993. Een goed moment, leek het Bestuur van de Werkgroep Natuurkunde-Didactiek, om eens pas op de plaats te maken en te zien waar we zijn met het nieuwe examenprogramma in de bovenbouw van HAVO en VWO. Vandaar dat gekozen is voor het thema 'Werken met de WEN'. Een aanwijzing dat dit een juiste keuze was is te vinden in het record aantal deelnemers van 414, een aantal dat nog groter had kunnen zijn ware het niet dat we drie weken voor de conferentie de inschrijving moesten sluiten.

Deze conferentie bood, naast de plenaire sessies, weer veel keuzemogelijkheden: negen parallellezingen en bijna dertig werkgroepen. Het zou jammer zijn als de zes lezingen en de 28 werkgroepen die u moest missen niet in een of andere vorm zouden worden vastgelegd. Vandaar dat we wederom een verslag hebben uitgebracht van de conferentie, ook al kost dat veel tijd en geld. Dat verslag is tevens bestemd voor de leden van de Werkgroep die de conferentie dit jaar niet konden bijwonen. Tenslotte vormt dit verslag een nieuwe bijdrage aan de unieke documentatie van ontwikkelingen in het bruisende Nederlandse natuurkunde-onderwijs.

Een reeks van jaren was het uitkomen van het verslag vanzelfsprekend: Paul Verhagen nam deze klus op zich en dan kwam het voor elkaar. Zoals aangekondigd was het vorige verslag Paul's laatste en er was niemand beschikbaar om het gehele werk over te nemen. Vandaar dat de taken over drie bestuursleden + Jenny Andriese verdeeld zijn. Dat hebben ze geweten. Hun bewondering voor het door Paul verrichte werk is daar nog groter door geworden. Bedankt Paul.

Tijdens de conferentie werd tevens afscheid genomen van Theo Wubbels, die acht jaar voorzitter is geweest van de Werkgroep Natuurkunde Didactiek. Theo heeft een nieu-

we baan gekregen bij het IVLOS van de Universiteit Utrecht. Het bestuur van de Werkgroep moet het nu helaas zonder hem stellen, al wil hij af en toe nog wel eens wat voor ons doen (zoals redactiewerk voor dit verslag). Bedankt Theo en succes in je nieuwe baan.

Zonder het werk van velen, zoals de lezinghouders, werkgroepeliders, conferentievoorzitter, forumleden, standhouders, technici, fotograaf en de mensen achter de schermen was deze conferentie geen succes geworden. En zonder de subsidie van het IVLOS van de Universiteit Utrecht waren de deelnamekosten de pan uit gerezen. Het Bestuur is allen dankbaar voor hun bijdragen.

U wens ik veel leesplezier. Hopelijk tot ziens op de volgende conferentie.

Harrie Eijkelhof
voorzitter WND

Inhoud



Voorwoord
Inhoud
Programma

Lezingen

Ervaringen met de nieuwe examenprogramma's natuurkunde voor havo en vwo (deel 1)	
<i>W.G.F.Jansens</i>	1
Ervaringen met de nieuwe examenprogramma's natuurkunde voor havo en vwo (deel 2)	
<i>J.Tromp</i>	3
Is een voldoende op het eindexamen ook voldoende voor studiesucces in het hoger onderwijs? Over probleemoplossen als cruciale vaardigheid in het hbo en het wo	
<i>M.Ferguson-Hessler en R.Taconis</i>	7
Meisjes, hun school en cultuur	
<i>M.de Waal</i>	15
Quarks	
<i>J.J.Engelen</i>	21
Influences on, and trends in, English teaching 16-19 physics teaching	
<i>B.Woolnough</i>	29
Aanpak aansluitingsprobleem HAVO-HBO; de wil lijkt er te zijn, maar nu nog de weg	
<i>J.H.van Dijk</i>	33
Elektrische processen in het hart	
<i>R.M.Heethaar</i>	37
Inzicht in bovenbouw natuurkunde-onderwijs	
<i>P.L.Lijnse</i>	41
15 jaar ervaring met open onderzoek natuurkunde	
<i>F.Budding</i>	49
De beoordeling van open onderzoek	
<i>C.Hellingman</i>	53

Werkgroepen

1. Een nieuw profiel natuur en techniek; wat zou dat kunnen betekenen voor de natuurkunde-didactiek?	
<i>M.Ferguson-Hessler</i>	59
3. Uitgewerkte vraagstukken <i>I.de Bruijn</i>	61
4. Wennen aan basisvorming <i>J.Schipper</i>	64
5. Is practicum tijdverspilling? Practicum/demonstratie en begripvorming <i>E.v.d.Berg & G.Bosch</i>	67
6. Meten aan bewegingen: Experimenten met interactieve video <i>B.Landheer & P.Molenaar</i>	72
7. Nieuwe programma's voor fysische informatica: rekenvel en modelomgeving <i>C.Bos, C.Mulder & K.Neuvel</i>	75
8. Computergebruik en natuurkunde: probleemoplossen per computer <i>F.Vogelzang & J.Heijnen</i>	80
9. Deterministische chaos <i>G.de Goede</i>	83
10. Waarom lust olijfe geen spinazie? <i>A.de Leeuw & M.Bollen</i>	88
11. In het examenprogramma is Natuurkunde ook Overal <i>P.G.Hogenbirk & A. ter Heerdt</i>	91
12. Vol (ideeën over) energie terug naar school <i>A.E.v.d.Valk</i>	94
13. Beginnen met eigen experimenteel onderzoek (EXO) <i>R.van Haren</i>	96
15. Van systematisch naar thematisch onderwijs <i>J.van Galen, K.Riswick & A.de Wever</i>	98
16. Scoop en de WEN <i>H.Biezeveld & L.Mathot</i>	100

20. Beoordeling Open Onderzoek <i>F.Budding & K.Hellingman</i>	101
22. "Examenvragen in context" <i>H.Joosten</i>	102
23. "He, de zon raakt op" een alternatieve benadering van het energieonderwijs in de bovenbouw <i>C.van Huis, E.van den Berg & H.van Riet</i>	103
25. De terugkoppeling naar de onderbouw <i>P.J.Wippoo</i>	107
26. NME in de praktijk van de natuurkunde <i>P.van Meeuwen & G.Stolwijk</i>	109
Lijst van deelnemers	113



PROGRAMMA

26e "WOUDSCHOTEN" CONFERENTIE

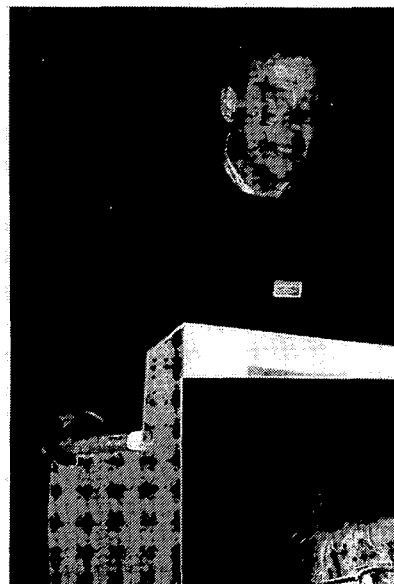
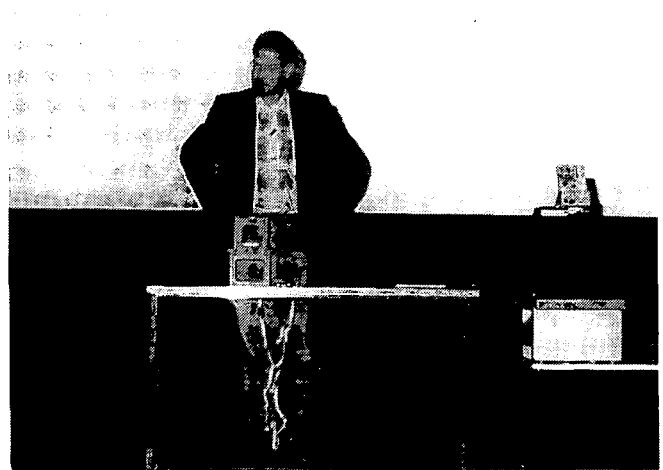
Vrijdag 13 december

- 10.00 - 12.30 uur** Bezoek ESTEC
- 13.30 - 14.40 uur** Ontvangst
- 14.40 - 14.50 uur** Opening van de conferentie door de voorzitter van de Werkgroep Natuurkunde-Didactiek,
Prof.dr.Th. Wubbels
- 14.50 - 15.00 uur** Informatie over de conferentie door de conferentievoorzitter, **Dr.P.Licht**
- 15.00 - 15.50 uur** Lezing door **Drs.W.G.F.Jansens & Drs.J.Tromp**: Ervaringen met de nieuwe examenprogramma's natuurkunde voor havo en vwo
- 15.50 - 16.00 uur** NNV-beurzen voor natuurkundedocenten door **Prof.dr.ir.F.Tuinstra**
- 16.00 - 16.30 uur** Thee
- 16.30 - 17.20 uur** Keuze uit drie lezingen:
- **Dr.M.Ferguson & Drs.R.Tacónis**: Is een voldoende op het eind-examen ook voldoende voor studietoetsen in het Hoger Onderwijs?
- **Dr.M.de Waal**: Meisjes, hun school en cultuur
- **Prof.dr.J.J.Engelen**: Quarks
- 17.20 - 17.50 uur** Aperitief
- 18.00 - 19.15 uur** Diner
- 19.30 - 21.00** Werkgroepen
- vanaf **19.30** Markt
- vanaf **19.45** Bar open



Zaterdag 14 december

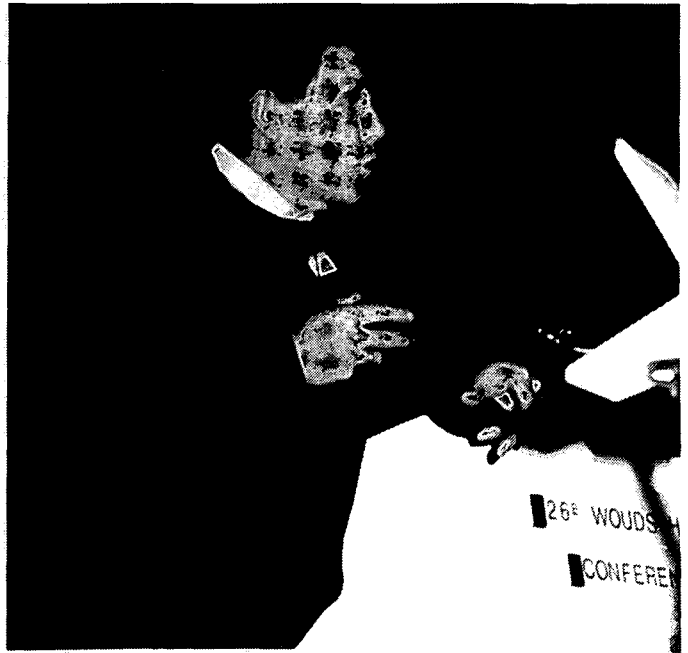
- 7.45 - 8.45 uur** Ontbijt
- 9.00 - 9.50 uur** Lezing door **B.Woolnough**: Influences on and trends in English 16-19 physics teaching
- 9.55 - 10.45 uur** Keuze uit drie lezingen:
- **Drs.J.H. van Dijk**: Aanpak aansluitingsprobleem havo-hbo: de wil lijkt er te zijn, maar nu nog de weg
- **Prof.dr.J.de Lange**: De aansluiting van wiskunde A en B op het natuurkundeonderwijs
- **Prof.dr.R.M.Heethaar**: Elektrische processen in het hart
- 10.45 - 11.10 uur** Koffie
- 11.10 - 12.35 uur** Werkgroepen
- 12.40 - 13.35 uur** Lunch
- 13.45 - 14.35 uur** Keuze uit drie lezingen:
- **Prof.dr.P.L.Lijnse**: Inzicht in bovenbouw natuurkunde (verhinderd)
- **Drs.H.van Bergen & Drs.C.de Beurs**: Werken met "Computertoepassingen in de natuurkunde"
- **Drs.F.Budding & Drs.C.Hellingman**: Open Onderzoek
- 14.35 - 15.00 uur** Thee
- 15.00 - 15.40 uur** Wordt het WENnen ?
Drs.P.J.Wippoo
Dr.G.Verkerk
J.Frankemölle
- 15.40 - 15.50 uur** Sluiting conferentie



Lezingen

Ervaringen met de nieuwe examenprogramma's natuurkunde voor havo en vwo (deel 1)

W.G.F. Jansens



Joke Tromp en ik zullen een aantal zaken bespreken die gekoppeld zijn aan de ervaringen van de voorloopscholen. We houden ons daarbij elk een beetje aan onze eigen leest. Joke spreekt (in deel 2) over meer klasgerichte ervaringen terwijl in dit stuk meer globale dingen aan de orde worden gesteld.

Allereerst echter dit: de organisatoren van deze conferentie opperden het idee om U iets mee te geven om over na te denken, mede in relatie tot zaken die tijdens deze conferentie aan de orde zullen komen. Als eerste denkerij wil ik U daarom maar gelijk confronteren met een vraag. U kunt die vraag zien als een losse flodder of als een schot voor de boeg.

De vraag luidt: "Haalt de WEN 1996?"

De vraag stel ik naar aanleiding van de nota 'Profiel van de tweede fase voortgezet onderwijs'. Sommigen kennen de nota. Vaak wordt erbij gezegd: 'Ach, op de basisvorming hebben we ook twintig jaar moeten wachten, het zal dus z'n tijd wel duren'. Begin december ('91) had ik echter de eer om op het ministerie een vergadering te mogen bijwonen van lieden die zich bezig houden met het samenstellen en invoeren van examenprogramma's, van lbo tot vwo en van nederlands tot muziek. Daar werd ons een beklemmend 'tjijpad' onthuld.

Gezien de titel van mijn verhaal is het onterecht om in te gaan op de inhoud van de nota. Waarschijnlijk zullen Monica Ferguson enerzijds en Frits Gravenberch met Leo van den Raadt anderzijds in hun respectievelijke werkgroepen hier meer aandacht aan besteden.

Wel laat ik U dat tijdpad even zien. Een tijdpad dat gebaseerd is op naadloze aansluiting van de bovenbouw op de basisvorming. Ten behoeve van die aansluiting moeten de structuur van de vakken en dan ook alle examens onder de loep genomen worden. Daartoe worden in eerste instantie drie 'stuurgroepen' gevormd. Eén voor de algemene vakken op C- en D-niveau, een tweede voor de be-

roepsgerichte vakken voor het vbo en een derde op het gebied van havo en vwo. Die laatste stuurgroep zal waarschijnlijk bestaan uit vier personen, zijnde hoogstaande personen die respectievelijk het havo-, het vwo-, het hbo- en het wo-gebied goed kunnen overzien. Zij worden voor vakinhoudelijke zaken geacht contact op te nemen met vertegenwoordigers van het veld. Als tijdsbeeld fungeert het volgende overzicht:

Tjijpad 'Profielnota'

- feb. 92 - reacties op de nota bereiken de Kamer
- april 92 - bespreking in Kamer
- zomer 92 - stuurgroepen worden samengesteld
- begin 93 - stuurgroepen leveren eindproduct op (!!)
- (mei 93 - eerste landelijke 'WEN'-examens)
- loop 93 - vervolgcactiviteiten
- 1994 - besluitvorming

Dit was het eerste ei dat ik echt even kwijt moest.

Vervolgens richt ik me op de examenresultaten van de havo-voorloopscholen. Velen van U herinneren zich (hopelijk) dat ik in het laatste NVON-Maandblad een artikel heb geschreven over het eerste havo-WEN-examen, dat we voortaan het examen Nieuw Programma (NP) zullen noemen. Ik heb U cijfers getoond, o.a. omtrent de behaalde resultaten. Om het geheugen wat op te frissen volgen ze hier nog een keer, waarbij ik wat rimram weglaat:

Overzicht resultaten havo-1991 natuurkunde
(eerste versie):

Regulier

	T	m	j
aantal kandidaten	2004	510	1494
(in %)	100	25	75
gem. cijfer (nca *)	6.24	5.9	6.4
% onvoldoende	29	35	27

Nieuw Programma

aantal kandidaten	104	26	78
(in procenten)	100	25	75
gem. cijfer (nca)	6.10	5.2	6.4
perc. onvoldoende	25	50	16

*) nca = na cesuur aanpassing

De resultaten van de meisjes zien er bar slecht uit.

Bovenstaande cijfers hebben geleid tot wat onderzoek. Omdat ik zo onaangenaam verrast was door de resultaten van de meisjes heb ik in de eerste plaats een begin gemaakt met me een beeld te vormen van de populatie kandidaten die dit jaar (91-92) in de examenklassen van de voorloopscholen zitten. Er loopt een havo-club en een vwo-club. Van de havo-club wilde ik een indicatie hebben of de resultaten nu een evenwichtiger beeld zouden opleveren en van de vwo-club wilde ik weten of er zich misschien een zelfde effect voor zou doen als bij de havo-club van vorig jaar. Om daarin enig inzicht te krijgen heb ik de schoolonderzoekresultaten over de eerste periode onderzocht. Nogmaals, de aantallen zijn te klein en het nemen van één SO-periode is natuurlijk aanvechtbaar, maar je moet toch ergens beginnen. Dat levert het volgende op:

Populatie en <SO-1> havo-voorloopscholen '91 samen:

	totaal	meisjes	jongens
aantal kandidaten	478 (1)	265 (2)	213 (3)
in %	100	55	45
kand. met natk.	149	36	113
in % (van 1,2,3)	31	14	53
landelijk %	29	13	50
verdeling m/j in %	100	24	76
<SO-1> voorloopsch.	6.4	6.4	6.3
<CE> landelijk 91	6.2	5.9	6.4

Populatie en <SO-1> vwo-voorloopscholen '91 samen:

	totaal	meisjes	jongens
aantal kandidaten	432 (1)	201 (2)	231 (3)
in %	100	46.5	53.5
kand. met natk.	199	56	143
in % van (1,2,3)	46	28	62
landelijk %	44	28	63
verdeling m/j in %	100	28	72
<SO-1> voorloopsch.	6.9	6.5	7.0
<CE> landelijk 91	6.4	6.1	6.5

De samenstelling van de populatie kandidaten van de voorloopscholen *samen* komt redelijk overeen met de landelijke cijfers, zodat *daar* geen vertekeningbron zit. We zien verder een redelijk normaal beeld. De eerste SO-cijfers liggen bij vwo een halve punt hoger dan de landelijke examencijfers van 1991, maar wie onder ons bouwt niet een beetje reserve in bij het eerste SO? Er is dus nog geen indicatie dat het effect van vorig jaar zich herhaalt, noch bij havo, noch bij vwo. Bij havo zien we zelfs meisjes en jongens op gelijk niveau.

Het tweede onderzoek was het volgende:

Gezien het feit dat de gegevens van slechts een deel van de voorloopschool-kandidaten waren verwerkt heb ik de euvele moed gehad om van de voorloopscholen zelf de gegevens op te vragen en te analyseren.

Een eerste opmerking naar aanleiding van die analyse is, dat het aantal kandidaten nog steeds te klein is om echt valide conclusies te kunnen trekken. Dat aantal kan ik echter niet groter maken.

Uit de nu volledige serie gegevens blijkt echter wel wat anders:

Overzicht resultaten havo-1991 natuurkunde NP
(herziening):

	T	m	j
aantal kandidaten	163	40	123
(in procenten)	100	25	75
gem. cijfer (nca)	6.21	5.8	6.3
perc. onvoldoende	25	35	22

De cijfers blijken significant anders te zijn dan uit de CITO-meting ("eerste versie") komt en eigenlijk vrij goed in overeenstemming te zijn met de landelijke resultaten.

Toch een beetje een opluchting!

Het is voor mij een raadsel hoe de gegevens die tot de oorspronkelijke cijfers hebben geleid, zijn geselecteerd. Ik kan geen wiskundige formules over de schoolgegevens leggen die leiden tot de eerder genoemde cijfers. Wel kan ik in de buurt komen, maar dan moet ik toch verder aannemen dat er nogal wat uitval van gegevens is geweest, bijvoorbeeld door voor de CITO-computer niet goed inleesbare scoreformulieren.

Ondanks de nu gecorrigeerde gegevens blijf ik er bij, dat u bij de cijfers die uw kandidaten in 1993 gaan halen (het eerste landelijke examen Nieuw Programma voor zowel havo als vwo) rekening moet houden met uitschieters omlaag. De redenen vindt U in het NVON-artikel, waarbij vooral het argument van de grotere gevoeligheid van meisjes voor 'externe' factoren m.i. een rol kan blijven spelen. Verder mogen wij als 'WEN-mensen' eigenlijk *niet tevreden* zijn met het feit dat de resultaten van de voorloopscholen cijfermatig gelijk zijn aan de landelijk behaalde resultaten. De enige echte conclusie die we mogen trekken is, dat er op de havo-voorloopscholen met de invoering geen ongelukken zijn gebeurd.

Ervaringen met de nieuwe examenprogramma's natuurkunde voor havo en vwo (deel 2)

J. Tromp



Als *voorloopschooldocent* mag ik U nu iets over mijn ervaringen van de afgelopen twee-en-een-half jaar vertellen.

Daarnaast ben ik *lid van de invoeringscommissie*. Dat betekent o.a. dat tijdens het geven van mijn lessen, ik deze tegelijkertijd kritisch observeer. Elk probleem dat ook U kan treffen, verwelkom ik vol enthousiasme. Wat moet er allemaal gebeuren, zelfs voordat er ook maar één les gegeven kan worden, bijv. in één van de nieuwe onderwerpen?

Lukt het mij om binnen de gegeven tijd het programma af te krijgen? In het NVON-maandblad heb ik onder de titel "t WENT al" een aantal specifieke problemen samen met mijn oplossingen beschreven.

Maar laat ik bij het belangrijkste beginnen.

Hoe nieuw is "vernieuwd"?

Is er eigenlijk wel iets veranderd? Bij het eerste nieuwe HAVO-examen viel het me op. Ik zat uit te kijken naar de WEN-opgaven, want daar moest alle vernieuwing in zitten. Dwaasheid natuurlijk, want de vernieuwing gaat niet echt *sprongsgewijs*, of het moet het sprongetje zijn dat jaarlijks na half december optreedt.

Het Continue proces van vernieuwing moet wel discreet gemaakt worden, omdat examenprogramma's en leerboeken niet elk jaar kunnen veranderen.

De WEN heeft geprobeerd de tijdgeest te vangen. Over een aantal vernieuwingen in het examenprogramma hoor ik zeggen: is dat vernieuwing, dat doe ik al jaren! Dat vind ik dan prima. Voor een aantal behoorlijk vooruitstrevende natuurkundedocenten, hier zeker aanwezig, is het programma niet zo nieuw. Maar het vorige was beslist te oud!

Nu een aantal concrete veranderingen, vernieuwingen dus, t.o.v. het oude VWO-examenprogramma:

1. de keuzeopdracht
2. de nieuwe stukken leerstof
3. contextbegrippen

Aparte aandacht wil ik daarna besteden aan het onderwerp "tijdsdruk".

1. Keuzeopdracht

Alle vijf de VWO-voorloopscholen hebben dit nieuwe examenonderdeel op een zeer eigen wijze aangepakt. Mijn strategie was erop gericht om binnen een van te voren *strak opgezette organisatie* in het diepe te duiken. Leerlingen begonnen meteen de eerste week van hun zesde klas. Na 1 of 2 weken was de beginfase (zie bijlage) dan achter de rug. Ik had wat inspiratielijsten voor onderwerpen klaarliggen. Voor het meten moesten ze twee opeenvolgende middagen reserveren. Het verslag tenslotte moest 1½ week voor de herfstvakantie binnen zijn, zodat alles (ook voor mij) voor de vakantie afgerond was. Met name die *beperkte tijd* beviel iedereen heel goed.

De *beoordeling* van zo'n zelfstandig onderzoek is een verhaal apart. Ik had nu nog geen tijd om me echt in het meetinstrument te verdiepen dat de NVON-werkgroep hiervoor heeft ontwikkeld.

Daarmee geef ik ook een realiteit weer, namelijk de beperkte van de *tijd van de docent*. Ik verzeker U, dat ik wat dat betreft niet over meer geheime reserves beschik dan de meesten van U!

Terug naar die beoordeling: ervaring en concentratie op de verslagen zorgden dat er na één weekend toch wel 42 redelijk verantwoorde cijfers uitrolden. Natuurlijk ietsjes aan de hoge kant, voor zo'n proefkonijnenronde. (Ik heb overigens wel wat gehad aan pauzegesprekken met collega's aardrijkskunde en talen).

2. Nieuwe onderwerpen

Met Fysische Informatica-1 ofwel Technische Automatisering heeft een aantal van U inmiddels ook ervaring opgedaan.

Ik licht er één opvallend punt uit, dat nog niet zo aan de orde is geweest. Het heeft te maken met het nieuw zijn van dit onderwerp. Ik heb meermalen verleidingen moeten weerstaan. Ik leg graag uit en leerlingen vragen vaak en veel. Maar af en toe deed ik er beter aan, eventjes iets niet uit te leggen.

Zo bleken opvallend veel leerlingen in de war te raken en dreigden het overzicht te verliezen, ook die vragenstellers, als ik me niet hield aan het *black box idee van de technische automatisering*.

Van de transistor bijvoorbeeld is het op dat moment alleen van belang om te weten, dat hij een continue signaal tweewaardig digitaal kan maken. Natuurlijk komt de vraag hierop: hoe doet ie dat? Op zo'n moment kan het beter zijn, die vraag uit te stellen tot het onderwerp elektronica, en de aandacht gericht te houden op continue en discrete signalen.

Bij de vertrouwde leerstof weet je wat beter je grenzen te bepalen, van wat wel en niet in het belang van de rest van de klas uitgelegd mag worden.

Bij *elektronica* was het ook even wennen. Het is een veel *empirischer onderwerp* dan bijvoorbeeld elektromagnetisme. Waarom slaat die FET nou dicht bij -2V? Is dat bij iedere transistor zo? Hoe kun je dat dan uitrekenen? Leerlingen ervoeren het onderwerp als nogal wat specifieke weetjes, waar vervolgens verbazend veel mee mogelijk is.

Van *biofysica* heb ik nu het oog en de straling behandeld. Je bereikt er naar mijn idee toch een *andere groep leerlingen* mee dan bijvoorbeeld met mechanica, terwijl andere leerlingen het juist weer niet zo zien zitten. Die scheidingslijn loopt overigens niet precies tussen jongens en meisjes.

3. Contextbegrippen

Aan de contexten zitten in de klaspraktijk twee kanten. De ene is: behandel ik mijn *leerstof* wel volgens het voorgeschreven contextbegrip? Bijvoorbeeld als ik het over staande golven heb, gebruik ik als voorbeeld of hulp bij het uitleggen het stemmen van muziekinstrumenten.

Zelf ga ik bij stukken leerstof die ik voor het eerst geef zorgvuldig na, of ik alle contextbegrippen verwerk. De lestijd die ik daaraan besteed varieert trouwens behoorlijk! De ene keer ben ik na vijf minuten met zo'n contextbegrip klaar, de andere keer kost het me een paar lessen.

Een ander aspect van die contexten laat ik terug komen bij mijn repetities en schoolonderzoeken. Zijn mijn *opgaven* van het juiste contextrijke gehalte? Niet iedere vraag op iedere repetitie staat natuurlijk in een context. Toch vind ik het voor de leerlingen een veel betere oefening

om uit zo'n aangeklede som de kern te halen, dan een ingewikkelde formule in te vullen.

Tijdsdruk

Vorig jaar rond deze tijd was de invoeringscommissie bezig met het probleem van de tijdsdruk. Dat heeft toen geresulteerd in een gefaseerde invoering van de nieuwe onderwerpen.

Hoe zit het nu met die tijdsdruk? Ik kan wat over mijn eigen ervaringen vertellen (zie ook bijlage). In de vierde klas ging het langzaam. Dat is mijn opzet ook. De leerlingen moeten nog zoveel meer leren dan de mechanica. In de vijfde ben ik na de inspanningen van de Fysische informatica iets te lang bij trillingen en golven blijven steken. Vanaf dat moment hebben we de sokken erin gezet. Nu in de zesde blijkt het heel gestroomlijnd te gaan!

Het is eigenlijk net als vroeger als ik zelf voor een tentamen zat. Natuurlijk is er een planning te maken, waarbij je de verplichte leerstof moet verdelen over de beschikbare tijd. Het cijfer wat je dan haalde hing meestal meer af van de effectiviteit van je tijdsbesteding dan van de werkelijk beschikbare tijd!

Het moeilijk in de planning is het stellen van prioriteiten, het schrappen. In de vierde klas vind ik het wel belangrijk om tijd te nemen voor het *leren opgaven maken*. Daarbij gaat het dan ook vooral om opgaven met veel context, verpakking noem ik dat. Eerst uitgebreid uitpakken tot er een simpel wiskundesommetje overblijft. De ingewikkelder sommen vind ik niet interessant op dat moment. Wiskundig kunnen ze dat in de vierde vaak niet aan, en mijn lestijd besteed ik liever aan de natuurkunde. Bij het behandelen van krachtmomenten hoef je toch ook niet verder te gaan dan maximaal twee momenten. Als je dan op zo'n ogenblik denkt: ja maar ik geef een oefensommetje met drie of vier momenten, dan kunnen ze het in ieder geval met twee, dan leg je naar mijn idee je *prioriteiten* verkeerd. Want dan kies je ervoor om je tijd daaraan te besteden, en heb je dus straks geen tijd meer voor het behandelen van bijvoorbeeld de laser of quarks. Als je dat uitgebreider sommetje toch wil doen, kan dat misschien bij de herhaling van de leerstof voor het schoolonderzoek, of op een ander, maar duidelijk veel later moment. Je moet er toch vanuit gaan dat in het examen per definitie "productievragen" zitten, d.w.z. vragen waarover je geen opgaven geoefend hebt.

Tot slot heb ik nog iets grappigs opgemerkt over de groep docenten die het meest last heeft van de tijdsdruk, dat juist hoe ervarener en gewetensvoller de docent is, des te overladener het programma lijkt.

Bijlage: het nieuwe programma

1. Keuzeopdracht
2. Nieuwe onderwerpen:
 - Fysische informatica 1 (Technische Automatisering)
 - Fysische Informatica 2 (Computertoepassingen)
 - Biofysica (oog, oor, bloedsomloop en straling)
 - Elektronica
 - Elementaire deeltjes
3. Contextbegrippen
4. Tijdsdruk

Zelfstandig onderzoek

1. Beginfase (± 3 uur)
 - 1.1 partner kiezen
 - 1.2 onderwerp kiezen
 - 1.3 oriëntatie op het onderwerp (practi-cumschrift!)
 - 1.4 opstellen van de onderzoeksvraag
 - 1.5 meetplan maken
 - 1.6 voortgangsgesprek
2. Meetfase (6-8 uur)
 - 2.1 gidsexperimenten doen
 - 2.2 meetplan bijstellen
 - 2.3 verdieping (apparatuur, theorie)
 - 2.4 definitieve metingen uitvoeren
3. Eindfase (6-8 uur)
 - 3.1 bewerken van de resultaten
 - 3.2 conclusies trekken
 - 3.3 verslag schrijven (max. 5 kantjes)
 - 3.4 onderzoeksresultaten presenteren

Volgorde onderwerpen

- Klas 4: Mechanica
 Optica
 Algemene zaken
- Klas 5: Fys.Inf.1
 Rest mechanica, oog
 Trillingen, golven en geluid
 Elektriciteit, elektronica, magnetisme
- Klas 6: Keuzeopdracht
 Kernfysica, straling en levend weefsel
 Elektromagnetische inductie
 (Herhaling: FI 1 en electr. & magn. voor
 SO 1)
 Vloeistoffen, gassen, warmteleer
- Nog doen: Fys.Inf. 2
(13-12-91) (Herhaling mechanica, optica en oog)
 Oor en stem (met herhaling trillingen en
 golven)
 Atoomfysica
 (Herhaling kernfysica)



Is een voldoende op het eindexamen ook voldoende voor studiesucces in het hoger onderwijs?

Over probleemoplossen als cruciale vaardigheid in het hbo en het wo

*M. Ferguson-Hessler &
R. Taconis*



1. Introductie.

Eerstejaarsstudenten in het Hoger Onderwijs ondervinden vele problemen: de overgang van thuiswonende leerling naar student op kamers, de grote omvang van de vakken van de nieuwe studie, de snelheid waarmee het onderwijs zich door de vakinhoud beweegt, en de nieuwe eisen die gesteld worden aan zelfstandige verwerking van de leerstof. Deze problematiek is op dit moment actueel in verband met de discussies over stroomlijning van de studie, afschaffen - of afstraffen - van omwegen in de studie, verhogen van de slaagpercentages en verkorten van de studietijd in het Hoger Onderwijs. Het ministerie van O&W heeft in een recente nota, "Profiel van de tweede fase voortgezet onderwijs", de nadruk gelegd op de rol van het Voortgezet Onderwijs als voorbereiding op verdere studie.

Het onderzoeksproject, waar Ruurd Taconis en ik vandaag over rapporteren, gaat verder terug dan deze nota, een heeft zijn wortels in onderzoek, dat door het LICOR (het Leidse instituut voor onderwijsresearch) is uitgevoerd naar studieproblemen van eerstejaarsstudenten, zoals deze door docenten en studieadviseurs van het HO worden gezien. Gevraagd naar de oorzaken van studievertraging en studieuitval in het eerste jaar, wezen deze docenten onder meer op gebreken in vaardigheden die nodig zijn voor het oplossen van problemen. De vakinhoudelijke kennis van de aankomende studenten werd daarentegen in het algemeen voldoende geacht voor de studie.

Het ministerie gaf daarna opdracht aan het SVO om een onderzoek te laten verrichten naar probleemoplossings-

vaardigheden, die een centrale rol spelen in tentamens en examens in het eerste jaar van het HO, en naar de mogelijkheden om al in de bovenbouw aandacht aan dit type vaardigheden te besteden. Met dit onderzoek, dat betrekking heeft op natuurkundige en technische opleidingen zowel in het HBO als in het WO, zijn we nu in Eindhoven anderhalf jaar bezig. Vraagstelling en methode van het eerste gedeelte zijn al in een werkgroep van de Woudschotenconferentie van vorig jaar door Ruurd Taconis gepresenteerd. Het ging dan om het identificeren en concreet omschrijven van een aantal vaardigheden, die een belangrijke rol spelen in eerstejaars tentamenopgaven waar vele studenten moeilijkheden mee hebben. In het afgelopen jaar is het onderzoek voortgezet; de lijst van probleemoplossingsvaardigheden is gevalideerd, en het verband tussen beheersing van de vaardigheden van de lijst en studiesucces in het eerste jaar is onderzocht. Voordat ik nader inga op de uitvoering van het onderzoek en op de betekenis van de resultaten voor het voortgezet onderwijs, wil ik eerst het theoretisch kader kort toelichten. Daarna zal Ruurd Taconis enkele voorbeelden laten zien en iets vertellen over nu beschikbare deelresultaten.

2. Theoretisch kader.

Wat zijn eigenlijk probleemoplossingsvaardigheden? Hoe algemeen of hoe specifiek zijn ze, hoe belangrijk, hoe abstract, hoe moeilijk om te leren? Hoe verhouden deze vaardigheden zich tot de vakinhoud; zijn ze daar onderdeel van of staan ze daarbuiten?

Om antwoord op deze vragen te kunnen geven moeten we eerst een stap terug doen, en het begrip 'probleemoplos-

sen' duidelijk definiëren. Er is een belangrijk onderscheid tussen het oplossen van een probleem en het maken van een oefenopgave of standaardopgave. In het laatste geval is het van voren af aan duidelijk langs welke weg de oplossing moet verlopen, welke wet of formule toegepast moet worden, en hoe de berekeningen zullen verlopen (voorbeeld: oefenopgaven aan het einde van een hoofdstuk in een leerboek). In het eerste geval daarentegen, heeft de oplosser geen kant en klare weg naar de oplossing tot zijn of haar beschikking, maar moet zelf een keuze maken van een of meer wetten en formules die van toepassing zijn, en zelf een plan maken voor de oplossing, die vaak meer dan een stap vergt. Voor dit proces heeft men een strategie nodig, een reeks van denkstappen die in een bepaalde volgorde worden uitgevoerd met het doel tot een antwoord te komen.

De context van een probleem kan ontleend zijn aan de alledaagse werkelijkheid, maar kan ook zeer theoretisch en abstract zijn. De zogenaamde 'sometjescultuur', waar moeilijke opgaven in sterk geïdealiseerde situaties gepresenteerd worden, kan in sommige gevallen het probleemoplossen stimuleren, en in andere gevallen een oefening in gecompliceerde berekeningen zijn. Een aantal probleemoplossingsactiviteiten komen echter allen voor in contextrijke situaties, bijvoorbeeld het benaderen en idealiseren, het maken van een model van een niet-ideale situatie.

Vele onderzoekers hebben het probleemoplossen van experts en van beginnende studenten onderzocht (bv. Larkin, 1979; 1981; Larkin, McDermott, Simon & Simon, 1980; Mettes & Pilot, 1980; Chi, Feltovich & Glaser, 1981; Chi, Bassok, Lewis, Reinemann, & Glaser, 1987). Ook in Eindhoven hebben we een strategie voor het aanpakken van natuurkundeproblemen op het niveau van eerstejaars tentamenopgaven uitgewerkt (de Jong, 1986; Ferguson-Hessler & de Jong, 1983); dit werd gedaan om te onderzoeken welke denkstappen precies nodig zijn voor een oplossing, en hoe deze stappen onderwezen zouden kunnen worden. Deze strategie bestaat uit vijf stappen (Ferguson-Hessler, 1988, 1989):

1. *Analyse* van de gegeven situatie:
 - . verzamelen, interpreteren en ordenen van de gegeven informatie,
 - . aanvullen van gegeven informatie met elementen van eigen kennis en met eigen conclusies,
 - . maken van een (kwalitatieve) voorspelling van de uitkomst.
2. *Keuze van kernbetrekkingen*:
 - . inventariseren van begrippen, wetten, en formules, die in de gegeven situatie van nut zouden kunnen zijn,
 - . kiezen van de meest geëigende daarvan.
3. *Vaststellen van de oplossingsroute*, dat wil zeggen maken van een plan voor de verschillende stappen van de oplossing.
4. *Uitwerken van het plan*, uitvoeren van de verschillende stappen.
5. *Controle* op het gevonden resultaat.

Deze stappen verlopen niet altijd in serie, in de tijd op elkaar volgend, maar overlappen elkaar, worden voor een gedeelte tegelijk uitgevoerd, of in een andere volgorde. De ervaren probleemoplosser, de expert, voert een aantal van de stappen meer of minder automatisch uit, bijvoorbeeld het trekken van conclusies of inventariseren van kernbetrekkingen. Wat vooral kenmerkend voor de expert is, is dat de controle tegelijk met alle andere onderdelen van het proces plaats vindt; de expert blijft als het ware zijn uitwerking in de gaten houden, en ontdekt daarom snel eventuele fouten (die maakt hij of zij bijna even vaak als de student!) en corrigeert ze.

Bekijken we nu de beschrijving van de strategie meer in detail, dan blijkt het mogelijk om een aantal cognitieve vaardigheden te beschrijven, die daar deel van uitmaken, zowel vakspecifieke als algemene. Enkele voorbeelden van *algemene probleemoplossingsvaardigheden*:

- analyse van een gegeven probleemsituatie, dat wil zeggen het herkennen en classificeren van situatiemarkers, zoals symmetrie, homogeniteit, of tijdsafhankelijkheid, afwezigheid van wrijving, valbeweging, aanwezigheid van een veldkracht enz.
- het leggen van verbanden tussen de situatiemarkers en in het geheugen opgeslagen, relevante kennis, in eerste instantie over de situatie (bijvoorbeeld het feit dat het elektrische veld binnen in een geleider altijd nul is), en in tweede instantie over wetten en formules die geldig en nuttig zouden kunnen zijn (bijvoorbeeld: het veld is niet homogeen, dus $V = E \cdot d$ geldt niet maar moet worden vervangen door een integraal).
- het maken van een plan voor een oplossing die uit twee of meer stappen bestaat.
- het uitvoeren van 'hulpprocessen' die nodig zijn voor de uitwerking, bijvoorbeeld het kiezen van een integratieweg voor een berekening.
- het bewaken van de zinnigheid van de uitkomsten, bijvoorbeeld de dimensie en de orde van grootte van de gevonden antwoorden.

Heel specifiek hebben we ons bezig gehouden met de vakken mechanica en elektriciteit en magnetisme. Uit deze vakgebieden stammen de volgende voorbeelden van *vakspecifieke cognitieve vaardigheden*:

- het hulpproces 'kiezen van een systeem' of 'kiezen van een maas' ten behoeve van de toepassing van de tweede wet van Newton respectievelijk Kirchhoff.
- het inventariseren van de op het gekozen systeem werkende krachten.
- het kunnen lezen van een elektrisch schema.
- het hulpproces 'kiezen van een integratieweg, -contour, of -oppervlak'.
- het opstellen van een enkele of meervoudige (Coulomb)-integraal.

Probleemoplossingsvaardigheden zijn dus denkhandelingen, die een centrale rol spelen bij het oplossen van problemen. Object van deze handelingen zijn zowel de probleembeschrijving als kennis van het vakgebied, die in het geheugen van de oplosser is opgeslagen.

3. Opzet en uitvoering van de studie

De eerste stap van de studie was, zoals ik al genoemd heb, het analyseren van een aantal 'struikelblokopgaven' uit eerstejaars tentamens van universitair en hoger beroeps-onderwijs. Dit waren opgaven die centraal in het curriculum staan, maar door minder dan de helft van de leerlingen goed opgelost waren.

Als leidraad bij de analyse werd de hier beschreven strategie voor het oplossen van natuurkundeproblemen gebruikt. Voor iedere opgave werd een zeer gedetailleerde 'gewenste uitwerking' geconstrueerd, een beschrijving van alle stappen van de vanuit het perspectief van de docent ideale oplossing. Op deze manier konden een aantal vakspecifieke cognitieve vaardigheden worden geïsoleerd. Op dezelfde manier werd een aantal eindexamens natuurkunde voor het HAVO en het VWO geanalyseerd. Vergelijking van deze lijsten leverde een aantal probleemoplossingsvaardigheden op, die in het eerste jaar van het hoger onderwijs wel een belangrijke rol spelen, maar die niet getoetst worden op het eindexamen. Sommige hiervan hoorden duidelijk bij vakinhoud die geen onderdeel is van de leerstof van het voortgezet onderwijs (bijvoorbeeld het kiezen van integratieoppervlakken en -kringen voor de toepassing van integraalstellingen over elektrische en magnetische velden). Andere vaardigheden konden heel goed worden geplaatst binnen de leerstof van het HAVO en/of het VWO, maar werden in de geanalyseerde eindexamenopgaven niet gevonden. Een typisch voorbeeld vormen de volgende vaardigheden, die strikt genomen altijd nodig zijn voor de toepassing van de tweede wet van Newton: 'definiëren van het systeem waarop de wet toegepast zal worden' en 'inventariseren van de krachten die op het systeem werken', dat wil zeggen het tekenen van een krachtendiagram (free force diagram). Opgaven waar deze vaardigheden nodig zijn, komen wel soms in het onderwijs voor, in eerdere jaren.

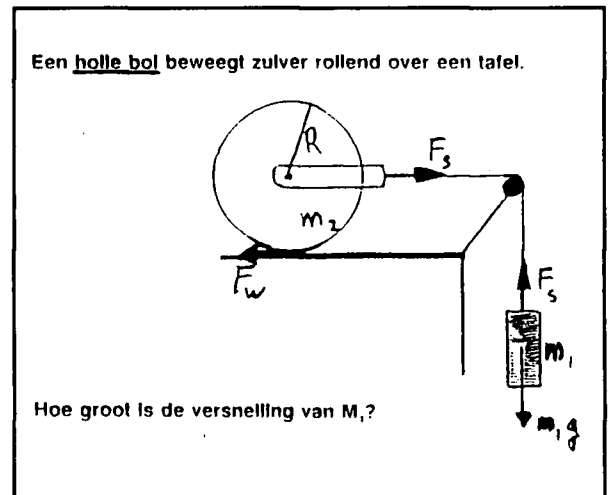
Volgende stap in het onderzoek was het valideren van een aantal gevonden cognitieve vaardigheden als zijnde van centraal belang voor het probleemoplossen. Hiervoor werd een aantal problemen geconstrueerd, waarin deze vaardigheden nodig waren voor de oplossing. De problemen pasten binnen de leerstof mechanica en elektriciteit en magnetisme van het voortgezet onderwijs. Enkele experts op het gebied van onderwijsresearch en onderwijs aan eerstejaarsstudenten werden gevraagd om de problemen kritisch te bekijken op de noodzakelijkheid van het beheersen van de vaardigheden voor de oplossing. Op grond van de beoordelingen van deze experts kon een selectie worden gemaakt van enkele problemen, die aan de ene kant typische vaardigheden bevatten die in het eerste jaar struikelblokken bleken te zijn, maar aan de andere kant opgelost konden worden met de kennis van het voortgezet onderwijs.

Zowel voor het hoger beroepsonderwijs (elektrotechniek, natuurkunde en werktuigbouwkunde) als voor universitair onderwijs (natuurkunde en technische natuurkunde) werden toetsen samengesteld uit deze opgaven. Deze toetsen

werden gegeven aan een groot aantal beginnende eerstejaarsstudenten aan het begin van hun studie, september 1991 (240 HBO-studenten en 100 universitaire studenten). Op basis van de in de eerste stap ontwikkelde analyses van opgaven werd voor ieder van de toetsopgaven een gedetailleerd scoringsschema ontwikkeld, die het mogelijk maakte om voor iedere student een punt toe te kennen voor zijn of haar beheersing van ieder van de actuele vaardigheden. Aan dezelfde studenten werd ook een vragenlijst voorgelegd, die vragen bevatte over studieaanpak. Het ging hier om voorbereiding op en deelname aan hoorcolleges en instructies, en om de manier van omgaan met leerstof en oefeningen bij zelfstudie.

Voor al deze studenten worden ook gegeven verzameld van de eerste tentamens in natuurkundevakken. Als alle gegevens beschikbaar zijn, zullen de verbanden tussen het beheersen van probleemoplossingsvaardigheden en studieresultaten onderzocht worden.

4. Een voorbeeld van de analyse van examen- en tentamenopgaven



Figuur 1

Als voorbeeld van het type analyse dat als eerste onderzoeksstap werd uitgevoerd zullen we de analyse van een exemplarische opgave uit het eerste studiejaar van de HTS beschreven. In figuur 1 vindt U een (enigszins gestileerd weergave van een) mechanica opgave uit de propaedeuse van de HBO-studierichting elektrotechniek.

Om te achterhalen welke probleemoplossingsvaardigheden voor deze opgave vereist zijn is bij het onderzoek eerst het volgens de docent gewenste oplossingsproces gereconstrueerd. Deze stap slaan we in dit artikel over; we zullen direct de vaardigheden beschrijven. Daarbij volgen we de stappen uit de hierboven beschreven strategie.

Analyse:

Deze opgave is natuurkundig gezien tamelijk complex. De student dient dus te beschikken over een flinke vaardigheid in het analyseren van probleemsituaties; het herken-

nen, ordenen en interpreteren van gegevens. Op vakstofspecifiek beschrijvingsniveau gaat het er bij deze opgave om de zinsnede 'zuiver rollend' als aanduiding voor de relatie: $a_{\text{bol}} = r_{\text{bol}} \cdot \alpha$ te interpreteren en het gegeven 'rollede holle bol' vanuit de vakkennis aan te vullen tot $I_{\text{h. bol}} = 2/3mr^2$. Ook moet het dubbele gebruik van het symbool 'F_z' niet als een vergissing van de docent, maar als voor het oplossen essentiële informatie worden herkend. Om dit in te zien is kennis over spankrachten in situaties met wrijvingsloze en massaloze katrollen van belang. Bij wijze van uitzondering heeft de docent de verschillende onderdelen van de situatie benoemd en de relevante krachten getekend. Toch dient de student na te gaan of deze inventarisatie in de figuur volledig is. De student dient dus in staat zijn zelfstandig de krachten te inventariseren (tekenen) en de relevantie van ieder van deze te beoordelen.

De volgende drie oplossingsstappen grijpen sterk in elkaar.

Keuze van de kernbetrekkingen

Op basis van kennis en verzamelde en geïnterpreteerde informatie dient de student formules te kunnen 'bedenken' die hier geldig, bruikbaar en mogelijk van nut zouden kunnen zijn. Daartoe moet de student - bijvoorbeeld als gevolg van ervaring met dergelijke problemen - beschikken over een samenhangend geheel van kennis van formules en hun gebruik, en van situaties waarin deze toepasbaar zijn. $F=ma$ en $M=I\alpha$ lijken hier geschikte kandidaten.

Vaststellen van de oplossingsroute

Om een oplossingsroute vast te stellen volstaat het bovenstaande niet. Juist omdat er in dit geval meer dan twee kernbetrekkingen zijn, is het nodig vast te stellen op welke wijze deze gecombineerd dienen te worden. Het opstellen van een oplossingsroute betekent bij deze opgave het opstellen van een stelsel van vergelijkingen.

Hulpprocessen uitvoeren

Om dit stelsel van vergelijkingen te kunnen opstellen is het essentieel te beschikken over de vaardigheid: "(strategisch) (deel)systemen kiezen waarop de verschillende natuurkundige wetten (hier $F=ma$ en $M=I\alpha$) moeten worden toegepast". Dit vereist kennis van het systeembegrip en kennis van de criteria die bepalen welke systeemkeuze toelaatbaar resp. bruikbaar is bij een bepaald type probleem. Bij deze opgaven is het nodig 3 deelsystemen (bol, massa m en bol+hengsel) te onderscheiden.

Uitwerken

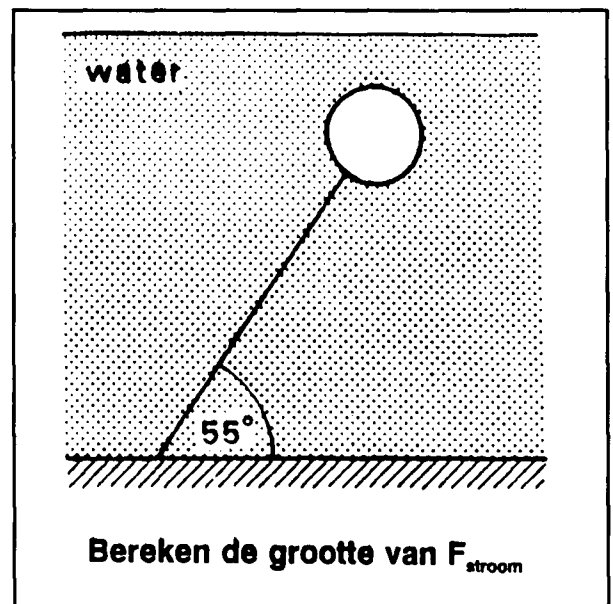
Pas nadat al deze stappen (eventueel impliciet) zijn gezet, komt het rekenwerk. Hier wordt van de student vaardigheid gevraagd in het oplossen van een lineair stelsel van vergelijkingen. In dit geval zijn bovendien de gegevens niet als getallen maar als symbolen gegeven.

Controleren

Bij deze opgave lijkt het controleren van het resultaat - of liever nog van tussenresultaten en denkstappen- gezien de

complexiteit sterk aan te bevelen. Dit vereist van de studenten de vaardigheid om (liefst tijdens het oplossen) de (tussen resultaten) en hun handelwijze te controleren. Controle van het eindresultaat kan bijvoorbeeld door dimensiecontrole. Ook vaardigheid in het tussentijds bijsturen van het oplossingsproces kan bij deze opgave waarschijnlijk van pas komen.

Het is illustratief om te trachten een dergelijke analyse ook uit te voeren voor een opgave uit het CSE-natuurkunde voor HAVO. Daarbij hebben wij geprobeerd een mechanica-opgave te kiezen die qua vaardigheden zo nauw mogelijk bij de bovenstaande opgave aansluit.



Figuur 2

In de hierboven afgebeelde opgave (CSE-natuurkunde 1989 (HAVO)) speelt krachtenanalyse en het toepassen van de tweede wet van Newton ($a=0!$) een rol. Een boei is ondergetrokken in stromend water. F_z , F_{opw} en F_{span} zijn bekend. De opgave is redelijk gemaakt. Een beter gelijkende opgave (b.v. rekenen met $F=ma$ als $a \neq 0$) hebben wij niet gevonden (!).

De vergelijking van de twee hier weergegeven opgaven illustreert de in het onderzoek aangetoonde verschillen m.b.t de vereiste vaardigheden in het CSE-HAVO en HTO-tentamens. Zo is er in de CSE-opgave sprake van één enkele kernbetrekking $F_{\alpha} = 0$, is het strategisch kiezen van een systeem niet nodig en zijn vaardigheden bij het uitwerken van een geheel andere orde. Bij de CSE-opgave moeten krachten worden geïnventariseerd en getekend bij een tweedimensionale situatie terwijl het bij de tentamen-opgave om een ééndimensionale situatie gaat. Dit is een toevalligheid. Juist tentamenopgaven betreffen vaak tweedimensionale situaties. In de inzet is een kort overzicht gegeven van geconstateerde verschillen wanneer meerder tentamen- en eindexamenopgaven worden vergeleken.

Kantttekeningen

Analyse	complexere situaties geometrische analyse (d2) krachten inventariseren (d2)
Kernbetrekking	meerdere tegelijk
Planning	stelsel opstellen opsplitsen in deelproblemen
Hulproces	het strategisch kiezen van een (deel)systeem het strategisch kiezen van een assenstelsel
Uitvoering	stelsel van vergelijkingen oplossen rekenen met symbolen
Controle	...

Verkort overzicht van verschillen in vereiste vaardigheden tussen CSE opgaven (HAVO) en moeilijke tentamen opgaven uit de propaedeuse van het HTO.

Het is goed om enige kantttekeningen te plaatsen bij het belang van dit resultaat.

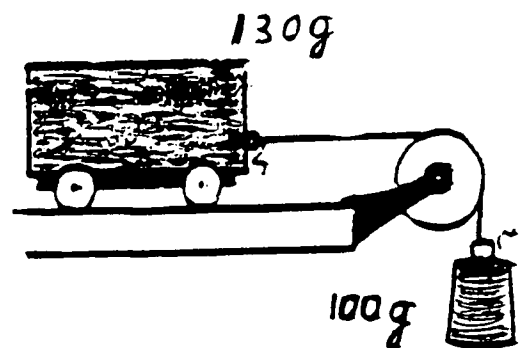
Op grond van deze vergelijking zijn *hypothesen* m.b.t. de voor aansluiting HAVO-HTO relevante vakspecifieke probleemoplossingsvaardigheden opgesteld die momenteel worden getoetst. De hypothesen zelf zijn niet direct bruikbaar voor het onderwijs. In het bijzonder kan het één en ander niet worden opgevat als pleidooi om de natuurkunde eindexamens dan maar ineens moeilijker te maken. Het feit dat er verschillen zijn tussen eindexamenopgaven en moeilijke tentamenopgaven is nauwelijks verwonderlijk. Het beoogde doel van de door ons uitgevoerde gedetailleerde vergelijking is vooral om deze verschillen zo nauwkeurig mogelijk te beschrijven, opdat binnen het HTO en binnen (afstudeerprofielen van) het HAVO desgewenst gericht hieraan kan worden gewerkt. Dat hoeft niet te betekenen dat het onderwijs zwaarder wordt gemaakt. Het gaat niet om het opleggen van zwaardere eisen, maar vooral om leerlingen en studenten gericht en effectief te helpen bij het onder de knie krijgen van de stof. Uit het feit dat in 4-HAVO-leerboeken vraagstukken (zie fig. 3a) voorkomen die meer dan eindexamenopgaven lijken op tentamenopgaven uit het HTO, blijkt dat boeken-

schrijvers het aanleren van deze probleemoplossingsvaardigheden niet bij voorbaat als onhaalbaar beschouwen.

Probleemoplossingsvaardigheden toets

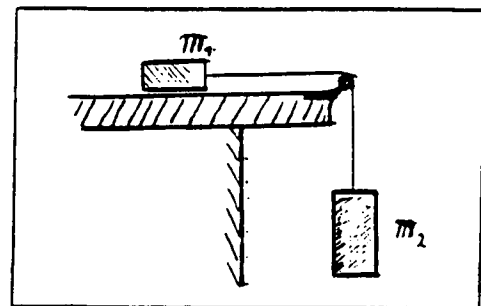
De op de hierboven beschreven wijze opgestelde hypothesen zijn verwerkt in een probleemoplossingsvaardigheden toets. Eén van de opgaven daaruit (met in dit geval een nogal schrale context) is weergegeven in figuur 3b. Voor het oplossen van de toetsopgaven volstaat kennis op het niveau van HAVO-natuurkunde, maar zijn vaardigheden vereist zoals die voorkomen in tentamens van propaedeusen uit het HTO. Alhoewel slechts een klein deel van de data is verwerkt, lijken deze toch een hoge correlatie tussen probleemoplossingsvaardigheden (m.n. analyse, planning en hulproces) en de tentamenresultaten aanmerkelijk te maken. Ook zijn de resultaten tot nu toe in overeenstemming met de verschillen in prestatie in de eerste periode in het HTO tussen van studenten die qua type vooropleiding van elkaar verschillen (MTS, HAVO, VWO).

Leerboek vierde klas



- a Bereken de versnelling.
- b Bereken de spankracht.

Probleemoplossingstoets



Laat zien dat

$$(1) \quad m_2 g - F_s = (m_1 + m_2) a$$

$$(2) \quad F_s = m_2 (g - a)$$

Figuur 3a en 3b

5. Mogelijke gevolgtrekkingen voor het voortgezet onderwijs.

Wat zou dit onderzoek kunnen betekenen voor het natuurkundeonderwijs in de bovenbouw? Een voor de hand liggend antwoord is, dat het hier om problemen van het HO gaat, en dat deze problemen in dat onderwijs moeten worden opgelost. Als studenten bepaalde vaardigheden niet beheersen, dan moet men in het eerste jaar daar gewoon rekening mee houden. Gezien de duidelijke signalen die ons vanuit het ministerie van O&O bereiken over het belang van voorbereiding op verdere studie in het voortgezet onderwijs, lijkt het echter nuttig om de uitkomsten wat nader te bekijken.

Een directe conclusie uit het onderzoek is, dat het heel goed mogelijk is om een voldoende op het centraal schriftelijk examen te halen zonder enige probleemoplossingsvaardigheden te beheersen. Aan de andere kant is het bekend, tenminste bij Natuurkunde in Eindhoven, dat studenten die een gemiddelde eindexamencijfer voor exacte vakken lager dan 7 hebben, aanzienlijk minder vaak hun P-examen halen dan andere studenten. Ook is bekend dat er door de jaren heen een sterke correlatie (0,6 - 0,7) bestaat tussen het eindexamencijfer voor natuurkunde en de eerste tentamenresultaten voor natuurkunde. Er zijn dus sterke redenen om te betwijfelen of een voldoende op het eindexamen ook voldoende voor studiesucces in het HO is.

We hebben het idee dat de beheersing van probleemoplossingsvaardigheden hiermee te maken heeft, maar beschikken nog niet over voldoende geanalyseerde data om dit aan te kunnen tonen. Wel hebben we nagedacht over de mogelijkheden om in het natuurkundeonderwijs van de bovenbouw meer expliciete aandacht te besteden aan probleemoplossingsvaardigheden.

In het nieuwe WEN-programma is men afgestapt van de traditionele, academische en formele behandeling van de natuurkundestof met strikte definities en theoretische afleidingen. In plaats daarvan wordt nu de nadruk gelegd op voorbeelden en toepassingen van natuurkundige begrippen en wetten in de leefwereld van de leerlingen. Ze moeten leren om in een verscheidenheid van contexten om te gaan met de begrippen. Zeker zal dit het natuurkundeonderwijs aantrekkelijker maken. Of het nieuwe programma ook het leren beheersen van de fundamentele natuurkundige begrippen makkelijker zal maken is nog de vraag. Het risico bestaat dat leerlingen niet in staat zullen zijn om de gezamenlijke basisbegrippen en wetten uit de verschillende contexten te extraheren, maar iedere context als een apart thema zullen beschouwen. Zou het niet zo kunnen zijn, dat definities en methoden als kapstok zouden kunnen dienen, waarop de fundamentele begrippen opgehangen kunnen worden, zodat ze wel in contact blijven met variërende contexten, maar niet aan de contexten gebonden zijn?

Deze gedachten zijn misschien wel controversieel, irritant en reactionair voor leraren die zich juist aan het inwerken

zijn in een nieuw examenprogramma. Hopelijk hebben we in de werkgroepen kans om in discussie te gaan. We willen hier kort een concreet voorbeeld uit de mechanica bespreken, de toepassing van de tweede wet van Newton, $F = ma$. Deze wet ziet er namelijk bedrieglijk eenvoudig uit, maar de toepassing vergt zowel begripsvorming als bepaalde cognitieve vaardigheden.

Ten eerste: wat is een kracht? Een aantal leerboeken maken het begrip duidelijk aan de hand van voorbeelden, en aan de hand van de werking van de kracht, dat wil zeggen bewegingsverandering of vervorming. Voor de leerling wordt dit in vele gevallen "kracht is F in $F = ma$ ". Onderzoek heeft uitgewezen dat sommige leerlingen kracht beschouwen als een eigenschap van een lichaam, een soort 'impetus' (Chi, 1991). Zou niet een stringenter fysisch-wetenschappelijke definitie, waarin de nadruk gelegd wordt op kracht als *wisselwerking tussen twee systemen of lichamen*, verhelderend zijn, zonder de stof moeilijker te maken? Een kracht wordt altijd *door* iets, A, **op** iets anders, B, uitgeoefend, en tegelijk oefent B een kracht op A uit, wat ons naar de derde wet van Newton leidt. In sommige leerboeken wordt hier melding van gemaakt, maar eerder als eigenschap dan als definitie van de kracht.

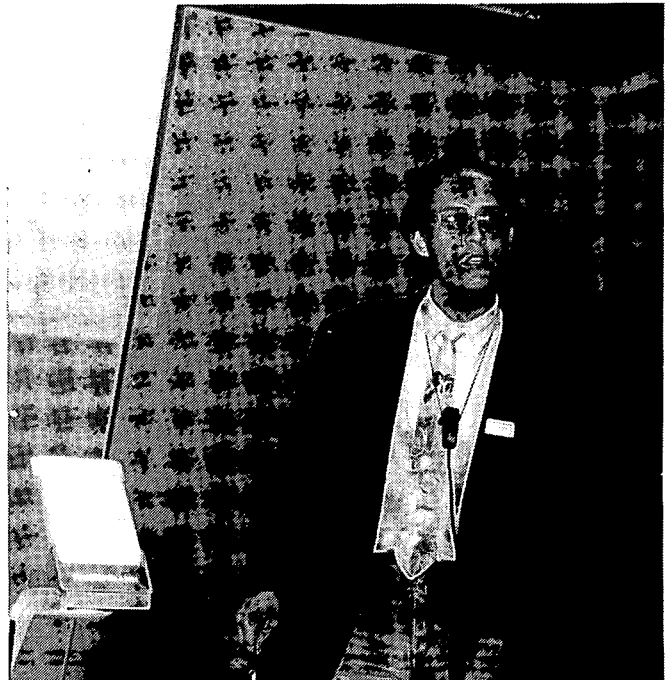
Sommige krachten treden op bij *contact* tussen twee systemen (bijvoorbeeld normaal-, druk-, trek- en wrijvingskrachten), andere *op een afstand* (de zwaartekracht en elektrische en magnetische krachten, deze werking op een afstand wordt in een later stadium beschreven met behulp van het begrip veld). Om te kunnen spreken over een kracht moet men dus eerst het systeem definiëren, waarop de kracht werkt. Uit het systeembegrip volgt direct het onderscheid tussen inwendige en uitwendige krachten; een onderscheid, dat met tal van voorbeelden uit de leefwereld van de leerlingen kan worden duidelijk gemaakt. Dit onderscheid levert ook een criterium om te bepalen welke krachten relevant zijn voor de toepassing van de tweede wet van Newton.

Uit de definitie volgt ook direct een recept voor de vaardigheid 'inventariseren van krachten'. Als het systeem eenmaal gekozen is, en duidelijk in een tekening aangegeven, dan kan men, beginnend met de zwaartekracht, en vervolgens met verschillende typen van contactkrachten langs de begrenzing van het systeem, een lijst maken van alle krachten die daarop werken.

Uit deze voorbeelden blijkt dat we maken hebben met denkhandelingen, die in het begin zeer expliciet uitgevoerd moeten worden, maar die met oefening meer of minder automatisch kunnen verlopen, bijvoorbeeld het onderscheiden van inwendige en uitwendige krachten op een systeem. Kenmerkend is dat de expert, de ervaren fysicus, een groot aantal van deze cognitieve vaardigheden automatisch, en als vanzelfsprekend uitvoert. Dit betekent dat een probleem ontstaat als de leraar expert is, en zich niet bewust is welke stappen van de situatieanalyse of verdere oplossing hij/zij automatisch en vanzelfsprekend uitvoert; dan blijven deze stappen verborgen voor de leerlingen, en alleen de slimsten zullen in staat zijn om ze te ontdekken.

Literatuur

- Chi, M.T.H. (1991). Conceptual change within and across ontological categories: examples from learning and discovery in science. Paper presented at the 1991 AERA annual meeting, Chicago. To appear in R. Giere (Ed.), *Cognitive models of science: Minnesota studies in the philosophy of science*. University of Minnesota Press.
- Chi, M.T., Bassok, M., Lewis, M.W., Reimann, P. & Glaser, R. (1987). *Selfexplanation: How students study and use examples in learning to solve problems*. Pittsburgh: University of Pittsburgh, Learning Research and Development Centre, Technical Report No. 9.
- Chi, M.T., Feltovich, P.J. & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.
- Ferguson-Hessler, M.G.M. (1988). *Studiehandleiding voor eerstejaars natuurkundestudenten*. Dictaat. Eindhoven: TUE, faculteit der Technische Natuurkunde.
- Ferguson-Hessler, M.G.M. (1989). *Over kennis en kunde in de fysica. Een studie van de cognitieve aspecten van het leren en doceren van natuurkunde*. Dissertatie, Technische Universiteit Eindhoven.
- Ferguson-Hessler, M.G.M. & Jong, T. de (1983). *Markante (dwaal)wegen bij het oplossen van E & M problemen*. Eindhoven: Groep Onderwijsresearch/ Afdeling der Technische Natuurkunde THE, rapport 32.
- Jong, T. de (1986). *Kennis en het oplossen van vakinhoudelijke problemen*. Dissertatie, Technische Universiteit Eindhoven.
- Larkin, J.H. (1979). Processing information for effective problem solving. *Engineering Education*, 285-288.
- Larkin, J.H. (1981). Enriching formal knowledge: A model for learning to solve textbook physics problems. In J.R. Anderson (Ed.), *Cognitive skills and their acquisition* (311-335). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Ass.
- Larkin, J.H., McDermott, J., Simon, D.P., Simon, H.A. (1980). Expert and novice performance in solving physics problems. *Science*, 208, 1335-1342.
- Mettes, C.T.C.W. & Pilot A. (1980a). *Over het oplossen van natuurwetenschappelijke problemen*. (diss.) Enschede: Onderwijskundig Centrum CDO/AVC.



Meisjes, hun school en cultuur¹⁾

M. de Waal



Het is inmiddels al weer acht jaar geleden dat ik in een - speciaal voor de gelegenheid aangeschafte - modieuze spijkerbroek het wiskundelokaal van een katholiek lyceum betrad. Ik voegde me daar bij de 2-Schakelklas waarvan ik de komende weken als namaak-leerling deel zou gaan uitmaken. Natuurlijk was ik ouder, dikker en wel iets wijzer dan de rest van de klas, maar de leerlingen hebben me toch welwillend op sleeptouw genomen. Met de andere meisjes sjokte ik van het ene lokaal naar het andere, met hen hing ik rond in de kantine, en met hen wandelde ik in de pauzes naar het nabijgelegen snoepwinkelkje. Het betekende het begin van een onderzoek naar de leefwereld van tienermeisjes dat bijna vijf jaar zou gaan duren. Twee jaar geleden promoveerde ik op het boek dat ik over mijn onderzoek onder tienermeisjes schreef. Het heet: *Meisjes: een wereld apart. Een etnografie van meisjes op de middelbare school* (Amsterdam: Boom).

De aanleiding tot mijn participerende observatie in het dagelijks leven van tienermeisjes, was een bevinding uit de onderwijssociologische literatuur. Wat mij intrigeerde, was de constatering dat meisjes het aanvankelijk beter doen in het onderwijs dan jongens. Ergens in de puberteit verandert dat echter helemaal: meisjes zouden het dan steeds minder goed doen terwijl de jongens juist beter zouden gaan presteren. Het resultaat: een onderwijsachterstand van meisjes ten opzichte van jongens die de dames niet meer inlopen. Wat ik wilde weten: Gaan meisjes het in de loop der tijd inderdaad slechter doen op school? En als dit zo is: waar bestaat dan precies die achterstand uit? En tot slot: kan het zijn dat meisjes bewust meer tijd aan andere zaken dan aan school gaan besteden?

Het voert voor vanmiddag te ver om op al deze vragen even gedetailleerd in te gaan. Ik ben zo vrij u hiervoor naar mijn boek te verwijzen. Waar ik het vanmiddag met u over wil hebben, is over drie kenmerken van meisjesschoolloopbanen die in recent onderwijssociologisch onderzoek gesignaleerd worden, en die ook ik bij de

meisjes uit mijn onderzoek heb kunnen waarnemen. Het betreft:

1. een daling in gemiddelde scores
2. seksestereotiepe keuzen (géén natuurkunde!)
3. de ontwikkeling van een gezelligheidscultuur ten koste van de prestaties

Vervolgens zal ik laten zien hoe deze observaties vanuit verschillende visies uiteenlopend gewaardeerd worden. Het ene uiterste is de reactie "Het is meisjes eigen; zo zijn ze nu eenmaal". Het andere uiterste is een algehele bezorgdheid over de positie van meisjes in het onderwijs. Een bezorgdheid van waaruit meisjes opgeroepen worden om hun achterstanden in te gaan lopen. Tenslotte zal ik ook een derde - mijn eigen - visie op de zaak geven. Ik besluit mijn betoog met de constatering dat de onderwijsachterstand van meisjes op een aantal punten genuanceerd moet worden. Maar ondanks die nuancering blijft staan dat tienermeisjes zowel van hun eigen schoolcultuur als van de schoolorganisatie belemmeringen ondervinden bij hun ontplooiing.

Kenmerken van meisjesschoolloopbanen.

a. Een daling in gemiddelde scores

Ik vertelde u zojuist over de aanleiding voor mijn onderzoek: de dalende schoolprestaties wanneer meisjes in de puberteit komen. Volgens de eerste publikaties die ik over het onderwerp las, kon je je die daling visueel voorstellen als een knik in de curve.

Is het waar - zo vroeg ik me af - dat ook de schoolprestaties van 'mijn' meisjes in de loop van de puberteit inzaken? Bestaat er op deze school voor HAVO en VWO voor de meisjes zo iets als "een knik in de curve"? Ik vroeg het de rector, een paar conrectoren en verschillende docenten. Ieder van hen knikte bevestigd: "Ja, zo iets was hen ook al lang opgevallen." Een conrector bracht de algemene visie mooi onder woorden toen hij zei:

"De kaars gaat uit, zo noemen we dat. Meisjes doen het in de eerste vaak fantastisch. Je ziet ze dan naar het gymnasium gaan. In de derde, vierde

gaan ze echter zien dat er méér is in het leven, en willen ze ook daar tijd aan besteden. Jongens van dezelfde leeftijd leven in een kleiner wereldje, en dat komt goed uit als je een school af te maken hebt...zo'n beperkte blik. Die meisjes zijn véél volwassener, maar hun prestaties dalen. Bij jongens stelt het aanvankelijk nog niet zoveel voor - ze zijn dan nog te speels - maar je ziet wel een constant stijgende lijn."

Uiteraard wilde ik niet alleen afgaan op de impressies van docenten en schoolleiding. Aan de hand van de leerlingkaarten uit de schooladministratie heb ik de resultaten van jongens en meisjes van één lichting op een aantal punten met elkaar vergeleken. De resultaten van dat urenvretende telwerk zijn ronduit verrassend. VWO en HAVO geven daarbij een verschillend beeld te zien.

- Op het VWO gaan de meisjes inderdaad in gemiddelde score elk jaar een stapje achteruit. De opmerking van de conrector dat "de kaars uitgaat" lijkt terecht. Echter: meisjes blijven de jongens voor.
- Op het HAVO geeft de score-lijn van de meisjes een lichte stijging te zien, die na de brugklas veroorzaakt wordt door het naar de MAVO verdwijnen van de zwakste zusters, en na de derde door de pakketkeuze met nauwelijks B-vakken. Ook bij de HAVO-jongens stijgt de lijn na de brugklas (door het verdwijnen van de 'MAVO-klanten'), maar daalt hij na de pakketkeuze die bij hen juist gekenmerkt wordt door een sterke voorkeur voor B-vakken. HAVO-meisjes verlaten de school dus met hogere cijfers dan de jongens, maar óók met een minder kansen biedend pakket.

b. Sekstereotiepe keuzen

Dit brengt me op het tweede kenmerk van de schoolloopbanen van meisjes: de sekstereotiepe keuzen. In het meest recente onderwijsonderzoek zijn de onderzoekers het er wel over eens dat het belangrijkste probleem niet meer de "knik in de curve" is, maar de sekse-segregatie binnen het onderwijs.

In sommige sectoren van het onderwijs belanden jongens en meisjes vrijwel steeds in verschillende richtingen. In het lager beroepsonderwijs is dat wel heel duidelijk in de splitsing in jongens in de technische richtingen, en meisjes in het huishoudelijk en nijverheidsonderwijs. Maar ook op universitair niveau - het andere uiterste - zien we sekse-segregatie. Natuurkunde trekt nog steeds weinig vrouwelijke studenten, dit in tegenstelling tot bij voorbeeld Letteren.

In gemengde onderwijsrichtingen - zoals HAVO en VWO - vertoont de sekse-segregatie zich in een andere gedaante. Bij de pakketkeuze blijken er 'jongensvakken' en 'meisjesvakken' te zijn, waarbij de eerste beduidend hoger worden aangeslagen dan de zogenoemde meisjesvakken. Jongensvakken bieden namelijk aansluiting op de meer technische vervolgopleidingen, die in de regel weer de grootste kans op goedbetaald werk bieden. Toch blijft het vreemd: wanneer een typische B-jongen grote moeite heeft met Frans en het vak laat vallen zodra hij die moge-

lijkheid heeft, zal niemand dat als zijn zwakte aanmerken. Laat een meisje echter natuurkunde vallen om Frans te kiezen, dan heet het dat ze een 'pretpakket' neemt.

Op de school waar ik mijn onderzoek deed, leidde mijn bestudering van de leerlingkaarten tot de volgende bevindingen aangaande sekse-segregatie:

- Meisjes komen op deze school iets minder vaak op het VWO, en wat vaker op het HAVO terecht. Maar zijn ze eenmaal op een bepaald nivo begonnen, dan houden meer meisjes het daarop vol dan jongens, en blijven ze er bovendien minder vaak zitten. Je krijgt de indruk dat jongens vaker boven hun macht grijpen met het niveau waarop ze onderwijs volgen. Dat zou ook niet zo verwonderlijk zijn, gezien het grotere belang dat er nog steeds voor jongens aan goed onderwijs wordt toegekend.
- We hebben al gezien hoe de hogere cijfers van de HAVO-meisjes in vergelijking tot hun mannelijke klasgenoten mede te verklaren zijn uit het feit dat veel van hen de in hun ogen te moeilijke vakken laten vallen. Dit in tegenstelling tot de jongens die liever wat langer over school doen en wat lagere cijfers halen, dan dat ze met een zogenoemd 'pretpakket' afzwaaien.
- Bij de VWO-meisjes is geen noemenswaardig verschil in pakketkeuze ten opzichte van jongens te zien. Dat komt ook omdat ze minder keuzevrijheid hebben dan hun zusters op het HAVO. Op het VWO van deze school is het alleen mogelijk om bepaalde combinaties van vakken te kiezen. Uitsluitend alpha-vakken kiezen, kan niet. Het blijft de vraag hoeveel VWO-meisjes dit wel zouden hebben gedaan wanneer ze volledig vrij in hun keuze waren geweest.
- Waar je dus voor 'mijn' HAVO-meisjes op grond van hun pakket van een onderwijsachterstand kunt spreken, kun je dat voor 'mijn' VWO-meisjes op zijn vroegst wanneer blijkt welke richting ze na school inslaan.

c. De ontwikkeling van een gezelligheidscultuur ten koste van de prestaties

Het derde en laatste kenmerk van meisjesschoolloopbanen waar ik vanmiddag aandacht voor vraag, is de ontwikkeling van een gezelligheidscultuur die ten koste gaat van de prestaties. In onderzoek onder laaggeschoolde jongeren wordt er al lang op gewezen dat deze jongeren er niet altijd de gewenste houding ten opzichte van schools presenteren op na houden. Men heeft het dan over een 'anti-school-cultuur' die voor een belangrijk deel gevoed wordt door opvattingen binnen het sociale milieu waaruit de jongeren veelal afkomstig zijn. Bij jongens wordt de anti-school-cultuur op een luidruchtiger, soms zelfs agressieve, wijze uitgeleefd dan bij meisjes. Meisjes zouden zich voor het oog van de docent vaak nog wat meer inhouden, maar zich ondertussen niet aan de les maar aan allerlei 'gezellige' activiteiten wijden. Wat u zich daarbij voor moet stellen, weet een deel van u uit eigen ervaring. Kletsen, snoepen, brood eten, sjekkies draaien, briefjes schrijven,

opmaken, breien, agenda's versieren, passanten op straat en op de gang becommentariëren, afspraakjes maken in het toilet. Hoe zou dat nou zijn op zo'n middle-class school als 'mijn' katholieke lyceum?

In de periode waarin ik onder het vaandel van participerende observatie mijn tweede jeugd in de klas beleefde, merkte ik dat ook Atheneum- en HAVO-meisjes op school zoiets als een 'gezelligheidscultuur' ontwikkelen. Wanneer ze nog maar net in de brugklas zitten, geldt dat nog niet. De meisjes met wie ik opgetrokken heb, zijn als 'brugpiepers' nog erg onder de indruk van die imposante grote nieuwe school. Onzekerheid is troef: ineens krijgen ze elk uur een andere docent en ook nog eens allemaal nieuwe vakken. Het gebouw is groot en vreemd, en de tweede-klassers zijn niet te vertrouwen. Koud zelf brugpieper-af maken zij er een sport van om 'ukkies' te pesten. Verder is er de angst om niet mee te kunnen komen; kun je wel voldoen aan wat ze van je verwachten? Trouwens, wat verwachten ze eigenlijk? In de brugklas is hard werken voor school nog niet zo'n afgang als het later wordt, en er wordt dan ook driftig geblokt door de meisjes in de eerste klas.

Naarmate ze langer op school zitten en merken dat ze mee kunnen komen, beginnen de dames zich meer op hun gemak te voelen. In de loop van de tweede wordt het tijd om eens relaxed achterover te leunen en te kijken in wat voor klas je eigenlijk beland bent. Wie is er leuk en wie is er stom? Wie is er preuts en wie een slet? Welke jongens zijn eitjes en welke zijn 'okee'? De onderlinge omgang met leeftijdgenoten begint steeds meer tijd op te slokken en ook de relatie met docenten verandert. Docenten worden kritisch op hun vakmanschap beoordeeld, maar dat niet alleen. Ook de docent 'als mens' telt, en vooral meisjes willen alles van hem of haar weten. "Bent u getrouwd?" "Heeft u kinderen?" "Bent u naar de kapper geweest?" Uiteraard kan de 'gezelligheidscultuur' op een HAVO/VWO niet ongebreideld ontwikkeld worden. Wie het te gezellig maakt, verdwijnt immers onherroepelijk naar een lager niveau in de onderwijshiërarchie. Wat niet wegneemt dat de meisjes uit mijn onderzoek constant de grenzen van hun docenten verkennen, met als doel: minimale inspanning en maximale gezelligheid.

De ontwikkeling van een gezelligheidscultuur heeft zijn prijs. De tijd en aandacht die nu besteed wordt aan de omgang met klasgenoten, wordt immers niet langer meer besteed aan het leren voor school en aan het opletten tijdens de les.

Verskillende reacties op deze waarnemingen

Wat moet je daar nou van denken, van die kenmerken van meisjesschoolloopbanen zoals ik die geschetst heb? Mijn ervaring is dat de meningen nogal uiteenlopen en ik ben benieuwd of u die ervaring deelt.

a. "Zo zijn meisjes"

De eerste reactie is die, zoals ik die van de schoolleiding

kreeg op de school waarop ik onderzoek deed. Deze reactie gaat er vanuit dat het meisjes eigen is om het na verloop van tijd minder goed te gaan doen op school, om voornamelijk belangstelling voor bepaalde vakken te hebben, en om het sociale verkeer in de klas belangrijker te vinden dan de eigen schoolprestaties. "Zo zijn meisjes".

Zeker toen ik na mijn turfwerk in de schooladministratie tot de ontdekking was gekomen hoe betrekkelijk de onderwijsachterstand van meisjes ten opzichte van jongens op deze school is, intrigeerde de vraag waarom de schoolleiding dan toch zo'n lage dunk van de prestaties van haar meisjesleerlingen had.

Allereerst bleek dat men eigenlijk niet zo goed op de hoogte was van de precieze verhouding tussen de resultaten van jongens en die van meisjes. Men wist bij voorbeeld niet dat jongens in deze - overigens niet uitzonderlijk gevonden - lichte zoveel vaker doubleren en/of afzakken dan meisjes. Ook het feit dat de 'inhaalmanoeuvre' van jongens niet overtuigend uit de gemiddelde cijfers spreekt, was nieuw voor hen.

Toen men eenmaal op de hoogte was van mijn bevindingen, bleek dat deze resultaten toch wel in overeenstemming te brengen waren met de eigen visie op de leerlingen. Eén van de conrectoren legde me uit waarom jongens vooral na het tweede en na het vierde of vijfde leerjaar blijven zitten. In de tweede zijn jongens volgens deze conrector nog net kinderen, die de ernst van een schooldiploma niet beseffen. Als jongens dan blijven zitten, is het - aldus deze verklaring - niet aan hun capaciteiten te wijten, maar aan hun motivatie. Wanneer ze echter later in hun schoolloopbaan doubleren, is het vaak juist omdat ze dan héél gemotiveerd zijn. Liever zitten ze een jaar langer op school om op een hoog niveau en met een goed pakket examen te doen, dan dat ze de schooltijd bekorten door een pretpakket te kiezen. Bij de meisjes is volgens de conrector iets anders aan de hand. Zij worden aanvankelijk juist zeer gemotiveerd gevonden. Door hun inzet en ijver weten meisjes de eerste jaren hogere cijfers te halen dan ze op grond van hun capaciteiten zouden verdienen. Komt het eenmaal op 'doordenken' aan bij de gecompliceerde stof in de bovenbouw, dan "komt de ware aard van het beestje boven". Falen van de meisjes heeft in deze verklaring dus vooral te maken met een in de eerste jaren geflatteerd beeld van hun capaciteiten, terwijl bij jongens de oorzaak in hun motivatie ligt.

Dat meisjes minder vaak b-vakken kiezen dan jongens heeft volgens de conrector met gemakzucht en desinteresse te maken, maar ook met het feit dat ze die vakken niet nodig hebben voor de richtingen die ze uit willen. Dit laatste wordt onderschreven door de conrector die de pakketkeuze begeleidt. Als zijn uitgangspunt noemt hij: de belangstelling van de leerling in kwestie. Wanneer een meisje hem te kennen geeft dat ze later "iets met kinderen" of - nog algemener - "iets met mensen" wil gaan doen, dan ziet hij niet in waarom hij haar zou aanmoedi-

gen om wiskunde of natuurkunde in haar pakket te nemen als ze een hekel aan die vakken heeft.

De gezelligheidscultuur tenslotte, wordt door de rector, twee conrectoren en verscheidene docenten die ik erover spreek, herkend. Hoewel zij vinden dat het in sommige klassen wat uit de hand loopt met de gezelligheid, hebben zij in de grond waardering voor deze vorm van anti-school-cultuur. Zij prijzen de meisjes om hun sociale gedrag en geven meisjes hierin vaak veel ruimte. Een voorbeeld: vooral onder meisjes uit de tweede en derde is het gebruikelijk om voor elk wisselwase de vriendin mee te vragen. Moet er onder schooltijd een band geplakt worden, moet er een dokter opgebeld worden, moet er maandverband gehaald worden; de vriendin gaat mee. Actieve meisjes die in commissies zitting hebben die feestelijke activiteiten voor de school organiseren, mogen delen van lessen wegblijven om zich van die taak te kwijten. Met hun waardering voor het sociale gedrag van meisjes houden heel wat docenten óók hun vorm van anti-school-cultuur in stand.

b. Meisjes moeten hun achterstanden inlopen

Het andere uiterste is de reactie uit kringen van emancipatie-voorvechtsters. Een reactie die ook doorklinkt in de boodschappen die de overheid de laatste jaren op middelbare schoolmeisjes afvuurt: "Kies exact", "Meiden gezocht voor mannenwerk", "Een slimme meid is op haar toekomst voorbereid".

Wanneer de prestaties van meisjes in de loop der jaren minder worden, duidt dat er in deze visie op dat meisjes onvoldoende aan bod komen tijdens de lessen, dat zij minder gedegen begeleid worden bij hun schoolwerk, en dat zij door hun omgeving op één of andere manier het idee bijgebracht krijgen dat onderwijs voor hen minder belangrijk is dan voor jongens. Aanpassing van het lesmateriaal, van de doceerstijl, en van het aantal vrouwen voor de klas moet een vrouwvriendelijker schoolklimaat scheppen waarin meisjes goed kunnen presteren. In dit verband heeft de MateM de laatste jaren mooi werk gedaan.

Ook het kiezen voor typische meisjesopleidingen en -vakken wordt in deze visie niet als "meisjes eigen" opgevat, maar als teken dat meisjes voorgeprogrammeerd zijn voor een beperkt aantal maatschappelijke taken. Als alle belemmeringen uit de weg geruimd zijn en als meisjes op het hart gebonden wordt dat ze zichzelf tekort doen door zo sekse-specifiek te kiezen, dan zullen ze vanzelf hun scope gaan verbreden. Meisjes moeten dus aangemoedigd worden om roldoorbrekende keuzen te maken.

De gezelligheidscultuur tenslotte, wordt gezien als een belangrijke belemmering in de schoolloopbaan. Dat meisjes zo'n cultuur ontwikkelen, komt in deze visie voort uit het belang dat er voor vrouwen en meisjes in onze samenleving aan sociaal gedrag gehecht wordt. Voor meisjes is

het kennelijk nog steeds minstens zo belangrijk om aardig en aantrekkelijk gevonden te worden, dan om slim en ambitieus te zijn.

c. Mijn eigen visie

Wanneer een spreker twee tegenstrijdige visies presenteert, dan kun je er op wachten dat hij of zij met de eigen gulden middenweg op de proppen komt. Zó simpel zal het vanmiddag niet zijn. Ik zal nu eerst wat kanttekeningen plaatsen bij die beruchte onderwijsachterstand van meisjes. Daarna besluit ik met een reeks vragen die ik u als schoolleiders en docenten mee wil geven, om aan de hand daarvan uw eigen werkomgeving eens opnieuw te bekijken.

Wat betreft de teruglopende schoolprestaties van meisjes deelde ik aanvankelijk de bezorgdheid uit beide vorige standpunten. Het was toch zonde dat meisjes die eerst zo goed scoorden, nu ineens niet hoger dan gemiddeld zes kwamen? Toch ben ik daar anders tegenaan gaan kijken. Eigenlijk is dat "gemiddeld zes" niet zo opmerkelijk; het is immers genoeg om over te gaan. Opmerkelijker zijn de extreem hoge cijfers die meisjes aan het begin van de middelbare school halen. Cijfers die ze volgens mij niet halen omdat ze zo gemotiveerd voor school zijn - zoals de conrector meent - maar omdat ze onzeker over hun eigen kunnen zijn en bang om niet aan de verwachtingen van ouders en docenten te voldoen. Zo bezien is het een positieve ontwikkeling wanneer meisjes hun capaciteiten beter leren kennen, waardoor ze kunnen taxeren hoeveel inspanning nodig is om het vereiste resultaat te bereiken. Meisjes ontdekken de economie van het schoolwerk, en maken daarmee tijd vrij voor andere belangrijke zaken.

Wat betreft de seksestereotiepe keuzen in het onderwijs vind ik het niet terecht dat alle kritiek hierop tot voor kort op de meisjes werd gericht. Meisjes moesten veranderen; jongens waren de norm. Maar ook jongens kiezen seksestereotiep, alleen hebben zij daarbij het geluk dat 'mannenberoepen' maatschappelijk en dus ook financieel hoger gewaardeerd worden dan vrouwenberoepen. Licht het probleem van meisjes en vrouwen niet veel meer in het verschil in maatschappelijke waardering voor vrouwen- en mannenberoepen, dan in een seksestereotiepe beroepskeuze op zich? Je moet wel tot die conclusie komen wanneer het waar is wat sommige arbeidsmarktdeskundigen stellen. Namelijk dat de maatschappelijke waardering voor een beroep verandert bij een veranderende sekseverhouding binnen dat beroep. Vrouwenberoepen stijgen in aanzien wanneer er meer mannen in gaan werken; mannenberoepen dalen in aanzien wanneer het aantal vrouwen toeneemt. Hélp het wel om 'roldoorbrekend' te kiezen?

En dan de gezelligheidscultuur van meisjes in de klas. Ik onderschrijf de kritiek van emancipatie-voorvechtsters dat die typische meisjescultuur in verschillende opzichten

belemmerend werkt. Meisjes spreken allerlei gedachten niet uit en laten allerlei handelingen na uit angst voor kritiek van de andere meisjes. Er is wel eens de vergelijking gemaakt met een krabbenmand: zodra eentje probeert over de rand te klimmen, wordt hij door de anderen teruggetrokken. Meisjes kunnen inderdaad wel wat aanmoediging gebruiken bij het zelfstandig maken van keuzen en bij het assertief optreden. Máár: meisjes doen ook belangrijke sociale vaardigheden op in die zelfde gezelligheidscultuur. Ze leren er om belangstelling te tonen voor anderen, om onderscheid te maken in verschillende soorten mensen, om gedragscodes voor alle mogelijke situaties te ontwikkelen, om over gevoelens te praten... Daar kunnen jongens nog wat van leren. Jammer genoeg betreft het vaardigheden waarvan iedereen het volstrekt vanzelfsprekend vindt wanneer een meisje die heeft, waar in allerlei situaties - ook in de werksituatie - veelvuldig een beroep op wordt gedaan, maar die in de regel geen cent opleveren. Sterker: wanneer een meisje grondig gevormd is in onbaatzuchtige zorgzaamheid, zal het haar moeilijk vallen om zakelijk te onderhandelen. Dit neemt echter niet weg dat het hier om mooie kwaliteiten gaat, die wat mij betreft ook bij de mannelijke leerlingenpopulatie wel wat meer tot ontwikkeling gebracht zouden mogen worden.

Tot besluit.

Ik ben aan het eind van mijn betoog gekomen, en wil besluiten met het noemen van een aantal punten waarvan ik meen dat ze de aandacht van elke schoolleiding verdienen. Ik baseer me hierbij op mijn eigen onderzoekservaring en laat het aan u over om te beoordelen of één en ander ook op uw school van toepassing is.

- Een eerste vraag die u zich kunt stellen, is: "Weten we werkelijk hoe de prestaties van jongens en meisjes zich op onze school tot elkaar verhouden?" Zoals u heeft gehoord, meende de schoolleiding op 'mijn' school precies te weten hoe de zaak ervoor stond. Toch kwam zij voor verrassingen te staan.
- Een tweede vraag luidt: "Hoe wordt bij ons de vakkenpakketkeuze begeleid?"
 - a. Wanneer krijgen uw scholieren informatie over studie en beroep? Wanneer dat in de hoogste klassen is, heeft de vakkenpakketkeuze als plaatsgevonden.
 - b. Wie geeft hen die informatie? Wanneer voorlichting geschiedt via een beroepenmarkt waarop oud-leerlingen gevraagd worden over hun studie te komen vertellen, is de kans groot dat sekse-stereotiepe beeldvorming in de hand wordt gewerkt. Wanneer u voor deze vorm kiest, vraag dan voor elke richting een jongen en een meisje om een stand te bemannen.
 - c. Hoe ver vraagt u dóór bij de beroepswens die leerlingen zeggen te hebben? Komen meisjes bij u weg met een antwoord in de trant van "iets met kinderen", "iets met dieren" of "iets met mensen"? En wijst u jongens op de mogelijkheid van een roldoorbrekende beroepskeuze?

d. Wanneer er tijdens de les of bij conrector of decaan over 'later' gesproken wordt, gaat het dan uitsluitend om studie- en beroepskeuze? Besteed ook eens aandacht aan de plaats van dat werk in het totale verwachte/gewenste leven. Meisjes blijken al jong na te denken over hoe ze moederschap met betaalde arbeid kunnen combineren. Jongens lijken zich zelden af te vragen hoe het met de zorg voor hun kinderen moet gaan.

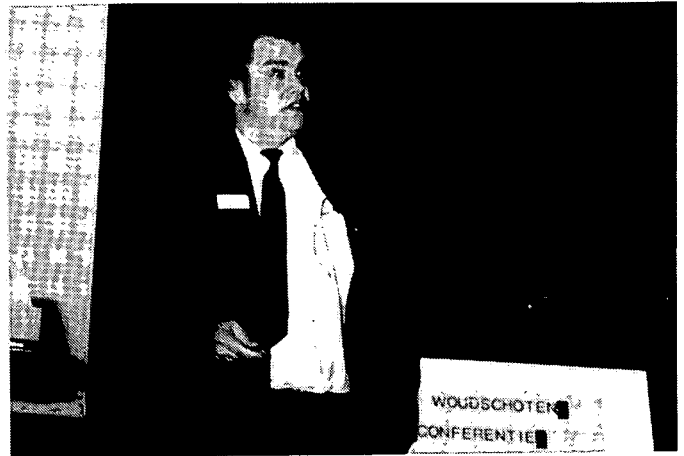
- Een derde vraag: "Zijn het bij ons op school ook de meisjes die de klas zo 'gezellig' kunnen maken?" Spreek als schoolleider of docent niet alleen meisjes aan op hun familie en op hun vrijetijdsbesteding; jongens genieten ook van zulke persoonlijke aandacht. Let bij de meisjes daarentegen op dat ze zich niet met hun *social talk* aan de les onttrekken. Uw vraag wanneer Napoleon geboren werd, is niet beantwoord met de wedervraag hoe het met uw eigen pasgeboren baby gaat.
- Tot slot: wanneer we ons bezighouden met de verhouding tussen de seksen in de klas, worden we onherroepelijk op onszelf teruggeworpen. Wat hebben we eigenlijk met de jeugd voor? Waar moet het heen, als het aan ons ligt? Onder welke voorwaarden is het voor vrouwen én mannen mogelijk om het beste van de twee werelden met elkaar te combineren? Hoe bereiden we jongeren daarop voor zonder met name de meisjes te belasten met alle frustraties die onze generatie bij haar streven heeft opgedaan? Het is er toch allemaal om begonnen dat we gelukkiger mensen zullen worden. Ik wens u heel veel succes.

1. Deze lezing is oorspronkelijk geschreven voor de MateM-lustrumconferentie "Grenzen aan cultuurverandering?" op 5 juni 1991.



Quarks

J.J.Engelen



Samenvatting

Er wordt een inleiding gegeven in de natuurkunde van de elementaire deeltjes: de hoge-energiefysica. Een ordening van de waargenomen hadronen (deeltjes die de sterke wisselwerking voelen) leidt tot het quarkmodel. Dat quarks niet alleen een handig classificatieschema opleveren, maar echte fysische objecten zijn, wordt uitgelegd aan de hand van experimenten waarin met behulp van elektron-protonbotsingen de structuur van protonen is bestudeerd en aan de hand van resultaten van elektron-positronannihilatie bij hoge energie.

1. Inleiding

In dit artikel wordt een verkennende en zeker niet uitputtende tour d'horizon van de hoge-energiefysica gemaakt. Er wordt gepoogd dit te doen op voor niet-specialisten begrijpelijke en de belangstelling prikkelende wijze. Er is geen enkele poging gedaan een 'les' samen te stellen die voor bijvoorbeeld het VWO bruikbaar zou zijn, daar de auteur op dit gebied onvoldoende ingevoerd is.

2. Hoge energie

Beschouw een proton p dat botst met een ander proton p waarbij de volgende reactie plaatsvindt:



Op de experimentele omstandigheden waarin dergelijke reacties kunnen worden bestudeerd gaan we hier niet in. Het is voldoende dat men zich een bundel protonen voorstelt die invalt op een doelwit, bijvoorbeeld een vat vloeibare waterstof. Het doelwit denke men omringd door detectieapparatuur die de reactieproducten registreert. Is de bovenstaande reactie interessant? In elk geval is de aangegeven reactie niet alledaags. Het is alsof twee biljartballen botsen, waarbij diezelfde twee ballen in tact blijven terwijl er een nieuwe bal geproduceerd wordt. Voor de beschrijving van dit soort processen moeten we dus gebruik maken van relativistische kinematica. Die is sinds het begin van deze eeuw goed bekend en op zichzelf onvoldoende om bovenstaand proces interessant te verklaren. Minder goed bekend is de dynamica die aan (1) ten grondslag ligt. In elk geval blijkt het niet

mogelijk (1) te verklaren binnen de in de natuurkunde het best geëxploreerde theorie van fotonen en geladen deeltjes) en dus hebben we te maken met iets nieuws, iets interessants.

Op welke energieschaal (een absoluut centraal begrip in de natuurkunde) speelt de beschouwde reactie zich af? Ter beantwoording van deze vraag bekijken we allereerst de massa van het proton en drukken deze uit in een voor de deeltjesfysica handige eenheid. De massa van het proton bedraagt $1,67 \cdot 10^{-27} \text{kg}$. (Dit is gemakkelijk te bepalen met behulp van het getal van Avogadro: $6 \cdot 10^{23}$ waterstofatomen wegen 1 gram). Gebruikmakend van $E=Mc^2$ komt dit overeen met een energie van $1,5 \cdot 10^{10} \text{kgm}^2/\text{s}^2$. (Er is gebruik gemaakt van de lichtsnelheid $c = 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$.) Een veel gebruikte energie-eenheid in de hoge-energiefysica is de elektronvolt: de kinetische energie die een eenheidslading oppikt bij het doorlopen van een potentiaalverschil van 1 Volt: $1 \text{eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{CV}$. ($1 \text{CV} = 1 \text{kgm}^2/\text{s}^2 = 1 \text{Joule}$.) Zo vinden we dat de rustmassa van het proton overeenkomt met een energie van $\frac{1,5 \cdot 10^{10}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 0,94 \cdot 10^9 \text{eV}$. Dit wordt ook geschreven als 940MeV of $0,94 \text{GeV}$.

Nu gaan we over tot het berekenen van de minimale bundelenergie die nodig is om reactie (1) kinematisch mogelijk te maken. Daartoe voeren we een Lorentztransformatie uit van het laboratoriumsysteem (bundel valt in op stilstaand doelwit) naar het zwaartepuntsysteem (bundel en doelwit naderen elkaar met gelijke maar tegengestelde impuls). Deze transformatie is geïllustreerd in figuur 1. Deze transformatie is handig omdat de berekening in het zwaartepuntsysteem triviaal is. De totale impuls is gelijk aan nul in dit systeem en de minimale bundelenergie geeft, per definitie, aanleiding tot een eindtoestand waarin alle deeltjes in rust zijn. Als E^* de bundelenergie in het zwaartepuntsysteem is, dan geldt in ons voorbeeld: $E^* = 2M_p + M_\pi$, waar M_p en M_π proton resp. pionmassa voorstellen. (M_π is gemeten en bedraagt 135MeV). Zo is E^* dus bekend en volgt de gezochte bundelenergie door terug te transformeren naar het laboratoriumsysteem. Indien v de snelheid is van dit systeem, zoals gezien vanuit het zwaartepuntsysteem en

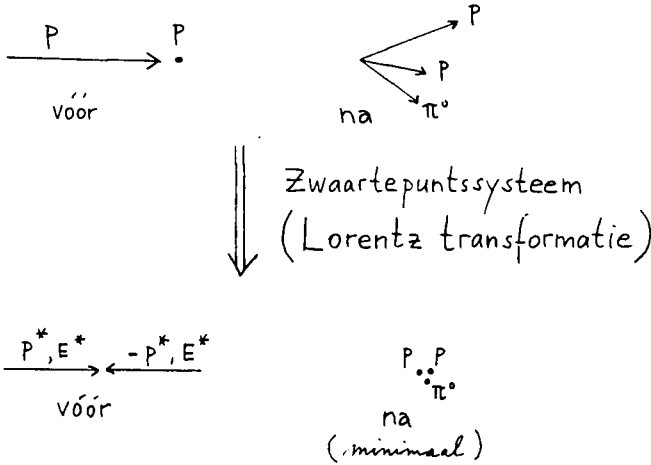
we definiëren $\beta = v/c$ en $\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2}$ dan geldt (zie voor de symbolen ook figuur 1):

$$\begin{pmatrix} E \\ p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma & \beta\gamma \\ \beta\gamma & \gamma \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E^* \\ p^* \end{pmatrix} \quad (2)$$

Deze transformatie geldt natuurlijk ook voor het doelwit, dat in rust is in het laboratorium:

$$\begin{pmatrix} M_p \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma & \beta\gamma \\ \beta\gamma & \gamma \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E^* \\ -p^* \end{pmatrix} \quad (3)$$

Hieruit vinden we $\gamma = E^*/M_p$ en $\beta\gamma = p^*/M_p$.



Figuur 1: Lorentz transformatie van Laboratoriumsysteem (doelwit in rust) naar Zwaartepuntssysteem. De situatie vóór en na de botsing $pp \rightarrow pp\pi^0$ is aangegeven.

Gebruikmakend van de eerste transformatie vinden we nu heel gemakkelijk $E = (2E^2 + p^2)/M$ en met behulp van $E^2 = p^2 + M_p^2$ leidt dit tot $E = (2E^2 - M_p^2)/M$. Invullen levert nu het gezochte resultaat: $E \approx 1,3 GeV$. Dit betekent dat voor deeltjesproductie hoge energieën nodig zijn: in ons 'minimale' voorbeeld moet het bundelproton worden versneld tot een kinetische energie van honderden miljoenen elektronvolts. Daarvoor zijn apparaten nodig die we niet zomaar uit het stopcontact kunnen voeden: versnellers. Op deze apparaten zullen we hier niet nader ingaan. 'State of the art' versnellers zijn tegenwoordig in staat protonen te versnellen tot $1000 GeV$ en elektronen tot $50 GeV$. De hoogste effectieve energieën worden bereikt door bundels op elkaar, en niet op een stilstaand doelwit, te laten botsen. Ter illustratie: wanneer twee protonbundels van elk $1000 GeV$ op elkaar botsen is de totale energie in het zwaartepunt gelijk aan $1000 + 1000 = 2000 GeV$. Om een dergelijke zwaartepuntenergie in een 'stilstaand doelwit experiment' te bereiken, zou de bundel een energie moeten hebben van ongeveer $2000000 GeV$. Dit is na te gaan met behulp van Lorentz transformaties zoals hierboven uitgelegd. Overigens is een bunde-

lenergie van $2000000 GeV$ vooralsnog in de praktijk niet te realiseren, hetgeen het belang van de botsende-bundeltechniek nog eens extra benadrukt.

3. De Sterke Wisselwerking

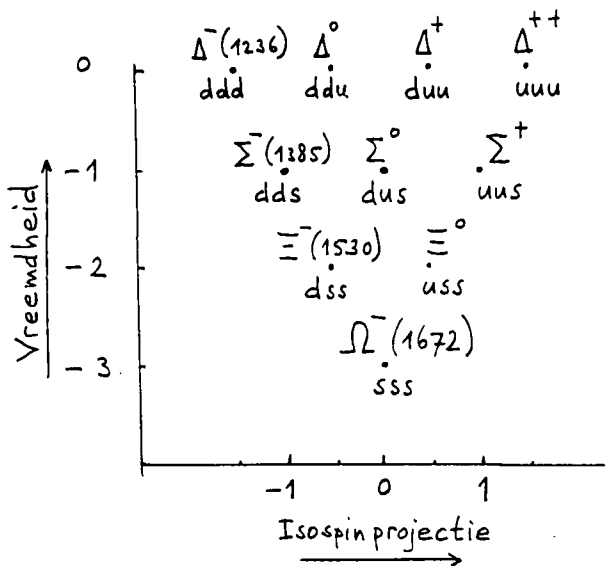
Reactie (1), $pp \rightarrow pp\pi^0$, is een voorbeeld van de sterke wisselwerking. Deze wisselwerking wordt gekarakteriseerd door een dracht van typisch $10^{-15}m$ en een grote koppelingsconstante, typisch meer dan 10 keer zo groot als de fijnstructuurconstante uit de electrodynamica (1/137). Bindingsenergieën en excitatieenergieën in het domein van de sterke wisselwerking zijn van de orde van $100 MeV$.

Deeltjes die gevoelig zijn voor de sterke wisselwerking noemen we hadronen. Behalve het proton is ook het reeds genoemde pion, waarvan ook een elektrisch geladen versie bestaat, een hadron. Een ander voorbeeld is het neutron. Vooral in de jaren zestig zijn er veel experimenten met hadronbundels uitgevoerd en is er een groot aantal hadronen (> 100) ontdekt. In deze chaos van hadronen is gezocht naar een orde en deze is gevonden. Het bleek dat voor het beschrijven van de sterke wisselwerking twee nieuwe quantumgetallen moesten worden ingevoerd en dat elk individueel hadron met behulp van deze quantumgetallen (en natuurlijk met behulp van massa, lading, spin e.d.) kon worden gekarakteriseerd. De nieuwe quantumgetallen heten: isospin en vreemdheid. Isospin gedraagt zich wiskundig gezien net zo als gewone spin: spin genereert rotaties in de gewone ruimte en isospin in een 'abstracte' isospinruimte. Vreemdheid is een eenvoudig additief quantumgetal (net als elektrische lading). Isospin en vreemdheid samen genereren ook een groep: $SU(3)$, de groep van 3-dimensionale unitaire, unimodulaire matrices. De irreducibele representaties van deze groep kunnen worden geïdentificeerd met de geobserveerde hadronen, waar aan elk hadron isospin en vreemdheid worden toegekend. De fundamentele representatie van $SU(3)$ is 3-dimensionaal, maar hiermee komen geen waargenomen hadronen overeen. Het blijkt echter een bijzonder vruchtbaar idee om aan de hand van deze representatie drie hypothetische deeltjes te postuleren: de quarks. Deze quarks kunnen nu worden gebruikt om de hadronen 'op te bouwen'. Er zijn hadronen met halfvallige spin (de baryonen, zoals het proton) en met heeltallige spin (de mesonen, zoals het pion). Baryonen stellen we samen uit drie quarks en mesonen uit een quark en een anti-quark. In tabel 1 vatten we enkele van de eigenschappen van de drie quarks samen. Met name de fractionele lading (d.w.z. een niet heeltallig veelvoud van de elektronlading) stuit(te) veel fysici nogal tegen de borst.

Naam	Lading	Spin	Isospin	Vreemdheid
up (u)	+2/3	1/2	1/2	0
down (d)	-1/3	1/2	1/2	0
strange (s)	-1/3	1/2	0	-1

Tabel 1

Zo kunnen we bijvoorbeeld het proton opbouwen uit u en d quarks als volgt: (uud). Het neutron is (ddu). Om te zien hoe de baryonen zich groeperen in multipletten die corresponderen met irreducibele representaties van SU(3), moeten we die irreducibele representaties vinden die volgen uit het drievoudige produkt van de fundamentele representatie. Een gedetailleerde wiskundige behandeling zou te ver voeren voor dit artikel. We geven het resultaat: $3 \otimes 3 \otimes 3 = 1 \oplus 8 \oplus 8 \oplus 10$. (Voor de geïnteresseerde lezer zal het geen probleem zijn een geschikt boek over groepentheorie te vinden in het zeer ruime aanbod.) Proton en neutron blijken tot één van de octetten te behoren. Alle deeltjes die tot hetzelfde multiplet behoren verschillen alleen in isospin en vreemdheid. Hun overige quantumgetallen zoals spin en pariteit zijn gelijk. Ter illustratie tonen we in figuur 2 de baryonen die overeenkomen met een 10 dimensionale irreducibele representatie van SU(3): langs de verticale as is Vreemdheid uitgezet en langs de horizontale Isospin. In dit vlak zijn de bijbehorende, waargenomen hadronen aangegeven met behulp van (triviale) symbolen. De elektrische lading is ook aangegeven, tussen haakjes is de massa (in MeV/c^2) vermeld. Verder is bij elk baryon in deze plot de samenstelling in termen van quarks te zien. Al deze baryonen, met uitzondering van Ω , waren experimenteel bekend op het moment dat dit classificatie-schema werd voorgesteld. Het Ω -deeltje werd dus voorspeld binnen het hier geschetste model en korte tijd later experimenteel inderdaad gevonden.

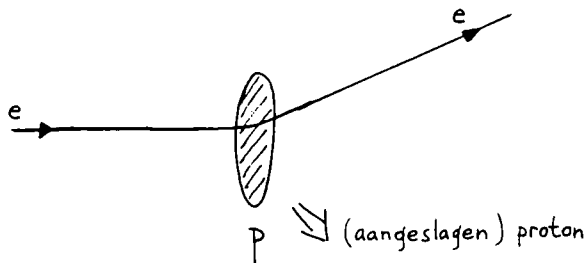


Figuur 2: Het baryon decuplet.

4. Diep Inelastische Verstrooiing

Zoals hierboven is uiteengezet zijn quarks conceptueel erg handig om orde te scheppen in de veelheid van geobserveerde hadronen. Zijn quarks meer dan alleen maar een wiskundige truc? Iets anders geformuleerd: zijn quarks echt (natuurkundig) of nep (alleen maar wiskunde)? Het antwoord op deze vraag werd onverwacht gegeven in

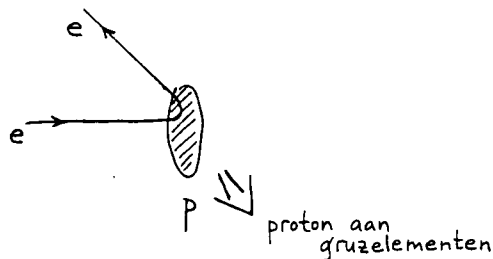
1968 als resultaat van experimenten met een elektronbundel van, zeker voor die tijd, hoge energie ($\approx 20 GeV$). (Deze experimenten vonden plaats bij de Stanford Linear Accelerator.) De elektronen werden verstrooid aan protonen. In figuur 3 is geïllustreerd hoe het verstrooiingsproces geacht werd te verlopen: het elektron (puntachtig) wordt enigszins afgebogen door het proton (dat veel groter is dan het elektron). We kunnen hier niet in detail ingaan op het begrip 'puntachtig', we merken slechts op dat alle tot dusver bekende eigenschappen van het elektron overeenkomen met de notie dat een elektron, in het bijzonder de lading ervan, geconcentreerd is in een punt.



Figuur 3: "Zachte" electron protonverstrooiing

In het bijzonder betekent dit dat er voor de theoretische behandeling van het elektron en zijn wisselwerkingen een exact voorschrift bestaat, er hoeft geen toevlucht te worden gezocht bij a priori onbekende 'vormfactoren'. Voor een proton is dit niet het geval en experimenten, bijvoorbeeld zoals geïllustreerd in figuur 3, leren ons dat de protonlading is uitgesmeerd over een eindig gebiedje met een typische diameter van $10^{-15}m$.

Behalve processen zoals schematisch weergegeven in figuur 3, werden er ook botsingen zoals geïllustreerd in figuur 4 waargenomen: het elektron krijgt een grote 'klap' en draagt veel energie over aan het proton, de energie wordt gebruikt voor de produktie van hadronen. Een analogie dringt zich op: de experimenten van Geiger, Marsden en Rutherford die tot het atoommodel van laatstgenoemde leidden. Hierbij ging het om de verstrooiing van α -deeltjes aan een dun goudfolie. Er werden 'gebeurtenissen' waargenomen waarbij de zware α -deeltjes terugkaatsten van het folie, hetgeen alleen te verklaren is als in het folie zware strooicentra aanwezig zijn en massa en lading dus niet homogeen over het folie verdeeld zijn.

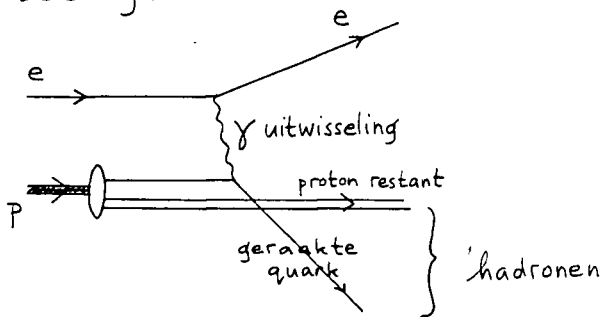


Figuur 4: "Harde" electron-protonverstrooiing

Deze strooicentra zijn (natuurlijk, zeggen we nu) de atoomkernen.

De elektron-protonbotsingen van figuur 4 kunnen verklaard worden door aan te nemen dat zich in het proton ook 'harde pitten' bevinden. Het blijkt mogelijk een consistente en kwantitatief verifieerbare beschrijving van dergelijke botsingen ('diep inelastische verstrooiing') te geven, aannemende dat de 'harde pitten' quarks zijn. Deze beschrijving is in hoge mate niet-triviaal en leidt tot het volgende beeld van het proton: het proton bestaat uit drie 'valentiequarks', de u en d quarks uit tabel 1, in de combinatie uud. Verder bestaat het proton uit een 'zee' van quark-antiquark paren die, dank zij de onzekerheidsrelaties uit de quantummechanica, bij verstrooiing kunnen worden aangetroffen. De quarks zijn, net als het elektron, puntdeeltjes.

ep botsing:



Figuur 5: Gedetailleerd diagram van elektron-protonverstrooiing.

Via het formalisme van diep inelastische verstrooiing hebben quarks dus een echt dynamische betekenis gekregen. In figuur 5 illustreren we in een diagram hoe diep inelastische verstrooiing verloopt: elektron en proton wisselen een foton uit, het elektron krijgt een klap en een quark (of antiquark) in het proton krijgt een even grote klap. De geraakte quark en het proton restant zetten een deel van hun energie om in massa van gevormde hadronen. Dit 'hadronisatieproces' vindt plaats na de diep inelastische verstrooiing en is daarom niet relevant voor onze beschouwing. Wel stellen we vast dat quarks kennelijk niet als vrije deeltjes kunnen voorkomen en altijd hadroniseren.

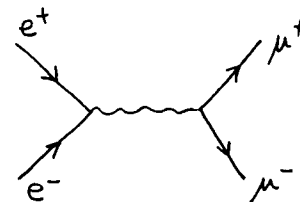
In bovenstaande beschouwing hebben we vastgesteld dat een proton uit quarks is opgebouwd, maar over de manier waarop de quarks aan elkaar binden hebben we niets gezegd. We zullen daarop hier niet nader ingaan, maar volstaan met de mededeling dat er voor de sterke wisselwerking van quarks een theorie is die inmiddels een tamelijk solide basis heeft: quantum chromo dynamica (QCD), de theorie van quarks en gluonen. (Gluonen zijn het analogon van de fotonen uit de quantum electro dynamica).

5. Elektron-Positronannihilatie

In het voorafgaande zijn drie quarksoorten ter sprake gekomen: u, d en s. Men spreekt ook wel van quarksma-

ken (in het Engels: flavour). Tot 1974 werd er door de meeste fysici als vanzelfsprekend van uitgegaan dat het beeld hiermee compleet was. De ontdekking van het ψ deeltje maakte het echter noodzakelijk het bestaan van een vierde quarksmaak te postulieren. Enige jaren later moest hier, ter verklaring van het inmiddels ontdekte ψ deeltje, nog een vijfde worden toegevoegd. Op het ogenblik wordt er, op algemene gronden, van uitgegaan dat er in totaal zes quarksmaken voorkomen. De zesde quark heeft zich tot dusver echter nog aan iedere waarneming onttrokken. Deze nieuwe quarks dragen de namen charm (c), beauty (b) en top (t). Een opmerkelijk (en niet begrepen) verschil met de u, d en s quarks is hun massa. De u, d en s quarks zijn licht (massa beduidend kleiner dan, laten we zeggen, de proton massa) en de c, b en t quarks zijn zwaar. De c quark massa bedraagt ongeveer 1,5 maal die van het proton, de b quark massa 5 maal die van het proton en de t quark moet zwaarder zijn dan 90 maal de proton massa om te kunnen verklaren dat deze experimenteel nog niet is waargenomen.

We zullen nu de experimentele verificatie van het bestaan van de zware quarks illustreren aan de hand van elektron positronannihilatie bij hoge energie. Hierbij gaan we uit van elektron- en positronbundels (een positron is een anti-elektron) die met gelijke maar tegengestelde impuls op elkaar botsen (botsende-bundeltechniek). Eerst beschouwen we de reactie $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$, die verloopt volgens het Feynman diagram van figuur 6. Deze reactie



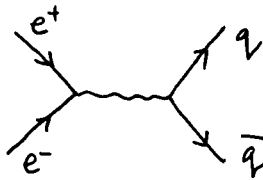
Figuur 6: Feynman diagram van de reactie $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$

verloopt volgens de elektromagnetische wisselwerking (er zijn alleen fotonen en elektrisch geladen (punt)deeltjes bij betrokken; het muon is een zwaardere uitvoering van het elektron) en de waarschijnlijkheid dat e^+e^- annihilatie leidt tot een $\mu^+\mu^-$ paar, en dus de zogenoemde botsingswerkzamedoorsnede voor dit proces, kan exact worden uitgerekend. Deze berekening is tegenwoordig een standaardoefening in relativistische quantummechanica; het resultaat luidt:

$$\sigma_{\mu\mu} = \frac{4\pi\alpha^2}{12E^2} \quad (4)$$

Hierin is α de fijnstructuurconstante, die de sterkte van de elektromagnetische koppeling bepaalt, en E de energie van de elektronbundel en de positronbundel.

In plaats van een μ -paar kan e^+e^- annihilatie ook aanleiding geven tot de produktie van een quarkpaar. Het Feynman diagram voor dit proces is weergegeven in figuur 7.



Figuur 7: Feynman diagram van e^+e^- annihilatie tot een quark antiquark paar.

(Zoals we eerder reeds opmerkten hadroniseren de quarks onmiddellijk, het proces zal zich dus manifesteren als: $e^+e^- \rightarrow \text{hadronen}$. Het hadronisatieproces is echter voor de berekening van de werkzame doorsnede irrelevant.)

De werkzame doorsnede voor de produktie van quarkparen (hadronen) volgt onmiddellijk uit $\sigma_{\mu\mu}$, als we de volgende punten in rekening brengen:

- De quarklading bedraagt een fractie e_q van de elementaire lading
- We moeten sommeren over de quarksmaken
- We moeten vermenigvuldigen met een factor 3 om in rekening te brengen dat elke quarksmak voorkomt in drie 'ladingstoestanden'. Met lading bedoelen we hier de lading van de sterke wisselwerking, ook wel met de (niet letterlijk te nemen) naam 'kleur' aangeduid. Het feit dat er zoiets als 'kleur' moet bestaan om quarks van dezelfde smaak te onderscheiden kan worden geïllustreerd aan de hand van het decuplet uit figuur 2. De deeltjes op de hoekpunten (Δ^{++} , Δ^- en Ω) zijn opgebouwd uit drie identieke quarks. Gezien de spin van deze baryonen ($3/2$) staan de quark spins ($1/2$) parallel. Dat leidt voor deze deeltjes tot een golf functie die symmetrisch is onder verwisseling van twee quarks. Deeltjes met halfvallige spin (zoals de leden van het decuplet), zogenaamde fermionen, dienen echter beschreven te worden door een anti-symmetrische golf functie (Pauli principe), vandaar dat we aan de quarks nog een quantumgetal moeten toevoegen om de golf functie van bijvoorbeeld Ω te 'anti-symmetriseren': kleur.

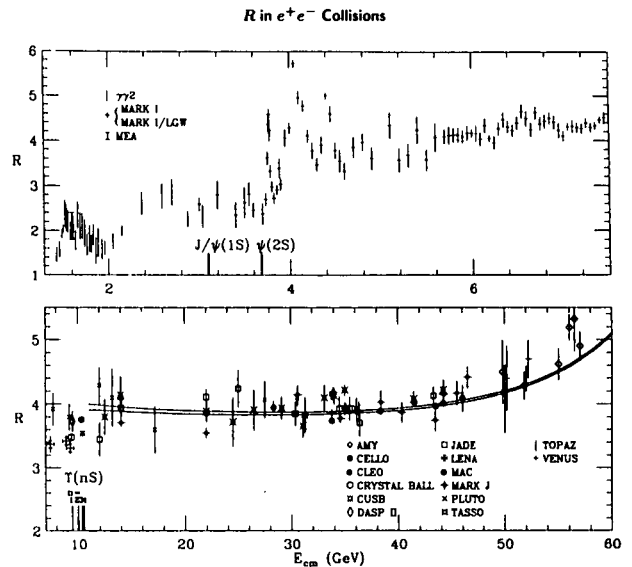
Zo vinden we voor de werkzame doorsnede voor de produktie van hadronen, σ_{had} :

$$\sigma_{had} = \frac{3\pi\alpha^2}{12E^2} 3 \sum_q e_q^2 \quad (5)$$

Indien we nu de grootheid R definiëren als

$$R = \sigma_{had}/\sigma_{\mu\mu} = 3 \sum_q e_q^2 \quad (6)$$

zien we dat deze grootheid in feite de som van de quarkladingen, vermenigvuldigd met de kleurfactor 3, meet. In figuur 8 is R uitgezet als functie van de totale energie van elektron- en positronbundel. De metingen bevatten meer informatie dan hier kan worden besproken, maar we benadrukken de volgende belangrijke waarneming: voor



Figuur 8: De grootheid R, zoals gedefinieerd in de tekst, als functie van de energie.

lage energie ($\sim 2\text{GeV}$) zijn de metingen consistent met de bijdrage van u, d en s quarks ($R = 2$); boven de 4GeV blijkt er een stap te zijn opgetreden: de energie is nu voldoende hoog voor de additionele produktie van de c quark ($R=3^{1/3}$). Bij nog hogere energie wordt ook de bijdrage van de b quark zichtbaar ($R=3^{2/3}$). De t quark wordt verwacht bij hogere, nog niet bereikte energie.

6. Perspectief

In het bovenstaande hebben we een inleiding gegeven in de hoge-energiefysica aan de hand van quarks. Hierbij hebben we de rol van quarks als de samenstellende deeltjes van hadronen benadrukt. Hadronen en quarks zijn gevoelig voor de sterke wisselwerking. Quarks zijn elektrisch geladen en nemen dus ook deel aan de elektromagnetische wisselwerking, hetgeen bijvoorbeeld blijkt uit elektron-positronannihilatie leidend tot hadronproduktie. Indien we de zwaartekracht buiten beschouwing laten, kennen we drie soorten wisselwerkingen: de sterke, de elektromagnetische en de zwakke. De zwakke wisselwerking is het best bekend als het mechanisme dat ten grondslag ligt aan β -verval van atoomkernen. De elektromagnetische en zwakke wisselwerking worden succesvol beschreven binnen één en hetzelfde model: het zogenaamde elektro-zwakke standaardmodel. Quarks zijn (dus) ook gevoelig voor de zwakke wisselwerking, hetgeen in dit artikel niet expliciet is behandeld.

Er is op dit ogenblik een heel goed gedefinieerd kader voor de sterke en de elektrozwakke wisselwerkingen. De fundamentele deeltjes (punteeltjes) vallen uiteen in twee groepen: de deeltjes met spin $1/2$, de fermionen zoals de quarks, en de deeltjes met spin 1 , de bosonen zoals het foton. De fundamentele deeltjes die we tegenkomen in de

Tabel 2

	FERMIONEN	VECTOR BOSONEN	SCALAIRE BOSONEN
VECTOR BOSONEN	$\left. \begin{matrix} e, \nu_e \\ \mu, \nu_\mu \\ \tau, \nu_\tau \end{matrix} \right\} \text{lep- tonen}$	γ massaloos $\left. \begin{matrix} Z^0 \\ W^+ \\ W^- \end{matrix} \right\} \begin{matrix} \updownarrow \text{symm.} \\ \text{zwaar breking} \end{matrix}$? Higgs deeltje
gluonen (kleur)	quarks $\left\{ \begin{matrix} u, d \\ c, s \\ t, b \end{matrix} \right.$	aantal ijkbosonen volgt uit symmetriegroep van lokale ijktransformaties $SU(2) \times U(1)$	Symmetrie-breking generatie van massa Experimenteel onontgonnen
$SU(3)$ dus 8 gluonen	aantal fermionen volgt niet uit theorie. Is gemeten!		
QCD - STERKE WW →		← ELECTRO ZWAKKE WW	

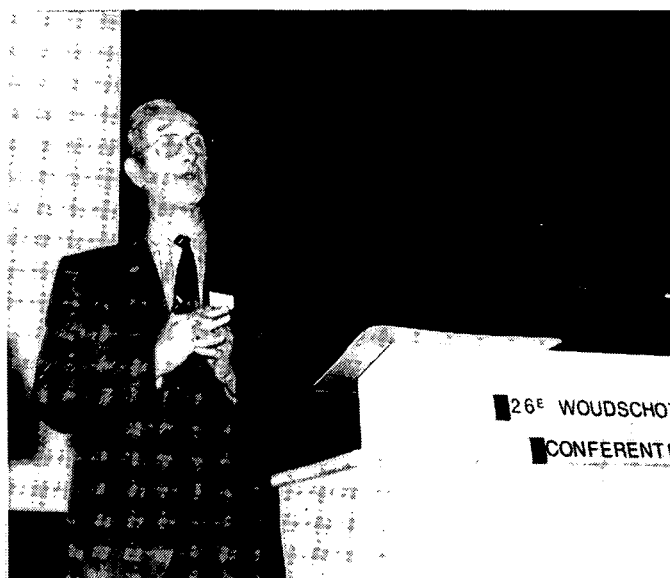
sterke en elektro zwakke wisselwerking zijn samengevat in tabel 2. Niet alle genoemde deeltjes zijn nog experimenteel aangetoond. Bijvoorbeeld de t quark is nog niet waargenomen. Volgens vrij algemene overtuiging is dit echter slechts een kwestie van gebrek aan energie bij de momenteel beschikbare versnellers. Meer intrigerend zijn de scalaire bosonen, de Higgs deeltjes. Op de rol van deze deeltjes is hier niet ingegaan. We volstaan met de opmerking dat deze of dergelijke deeltjes (experimenteel vooralsnog ongrijpbaar) dan wel een herformulering van de theorie nodig zijn om zinvolle voorspellingen te kunnen doen voor verschijnselen bij nog hogere, binnen een tiental jaren experimenteel bereikbare, energie.

Dankwoord

Graag wil ik K.J.F. Gaemers bedanken voor het doorlezen en becommentariëren van dit artikel.

Influences on, and Trends in, English 16-19 Physics Teaching

B. Woolnough



Introduction

There is currently a lively debate, and much uncertainty, about the way that 16-19 education should develop in England. This debate is being held in the area of physics education (Avison and Evans, 1989), and in the wider educational and political spheres (Royal Society, 1991). There is agreement that the present situation is unsatisfactory, but less consensus about the way forward.

I am coming to the debate with nearly 30 years of experience in physics education, 13 years as a school physics teacher and subsequently in the Oxford Department of Educational Studies training, working and researching with, physics teachers. Most recently I have researched the provision and effect of 16-19 science education in two projects; the ACOST project (Woolnough, 1990) looked at the attitudes of 16-19 year old students to careers and higher education in science and technology and the subsequent FASSIPES project (Woolnough, 1991) which looked at the factors which affected schools' success and students choice towards or away from higher education courses in engineering or sciences.

The Current Situation

The situation in English schools is changing rapidly. A National Curriculum is being introduced for all students from the age of 5 to 16 and within this, science has a central place for all students. The science is projected as a single subject, Balanced Science. Previously few pupils has a serious science course before the age of 11, most students studied science from 11-14, and students had a choice from Physics, Chemistry, Biology and Science in the age 14-16. Some students (7.5%) took all three separate sciences for 30% of the curriculum time, 26% took two sciences in 20% of curriculum time, while 67% of students took only one science (for boys that was usually physics and for girls biology). Now all students will take a balanced science course, in 20% of the curriculum time, up to the age of 16.

At 16 students may leave school and in the past the majority have done so. The 'staying on rate' up to the age of

18 is low but increasing, it is now nearly 50%, but it has been even more depressingly low (30% in 1986). At 16 students choice in schools has been between high status, academic A level, or low status, vocational courses. Students are forced to specialise in 3, or possibly 4, A levels which means that a minority (25%) of students study science and maths only and the majority study no sciences at all.

The number of students studying physics at A level has decreased since 1982, from about 54 000 to nearer 45 000, after having increased over the previous decade (Morris, 1990; Smithers & Robinson, 1989). This has been reflected in the numbers applying for physics courses in Higher Education (RS/FEng/IoP, 1988). Though the quantity of physicists has been decreasing, their quality has remained high (Woolnough, 1991). This is not true for the potential engineers where the quality, as well as the quantity of HE students has been decreasing. The total number of A level entries has increased over the same period, despite a decrease in the total 18 year old age cohort from 900 000 in 1985 tot 600 000 in 1995.

Perhaps of equal importance to the statistics above is the climate in the schools and especially in the science departments at the present time. Over the last five years there has been a continuous process of change in the science department of 11-16 schools, through changes of curriculum and assessment thrust upon them by external agencies such as the examination boards and the government via the National Curriculum. Many of these changes have been ill prepared, most of them have imposed an increase in work load upon the science teachers, not a few have prevented teachers teaching their subject in the way they believe to be best. The state of "innovation fatigue" caused by these 11-16 pressures, and the perceived "deskilling" of science teachers by the government's introduction of the National Curriculum, is causing a marked reluctance to innovate in the 16-19 curriculum.

Current Concerns

Arising from the current situation are five main concerns.

The low overall "staying on rate" is quite unacceptable for a country expecting to have all of its population educated and responsible citizens. In particular, the low number of students staying on to study the sciences is perceived to be inadequate for the future needs of a technological society.

The effects of the replacement of physics, chemistry and biology in the 14-16 age range for a few, by balanced science for all are as yet uncertain, but already the gap in knowledge and confidence between the science courses before and after 16 is causing concern. Many students having done GCSE science feel ill-prepared for A level physics. The move to GCSE could further erode the numbers feeling confident to follow an A level physics course and thence go on with physics or engineering. There is widespread concern about the narrow structure of the 16-19 curriculum, with the three subject norm forcing pre-mature specialisation. For science it means that only those with a very strong commitment to the sciences will be prepared to spend all of their time on such an arduous and rigorous diet as three sciences. Most 16 year olds want not only to study something worthwhile and interesting but also to enjoy themselves! Thus many 16 year olds, who could do science, do not continue with it because they perceive themselves to be insufficiently clever or committed. Either you do three A levels in science, if you are clever, or you do no sciences, or you do vocational courses. There is an unhappy differentiation caused by the system, which deters many students from staying on.

The science courses themselves, especially in physics, are regarded as too academic, too difficult, too dull and too passive - giving insufficient opportunity for the students to develop their own potential. However, it should be noted that many of the able students who currently continue with A level physics do so because they like the very aspects which non-scientists find off-putting! They like the rigour, find the subject (and the maths) easy, and find that the abstract nature of the subject matches their own pre-dilection for ideas before people.

Current Proposals

Many bodies are arguing that we should broaden the pattern of the 16-19 curriculum, insisting that all students continue to study five or perhaps six subjects in line with the European or the International Baccalaureate (eg Higginson, 1988). Some suggest a free choice of subjects, others that the choice should be constrained to produce a balanced curriculum (The Royal Society, 1991).

This would mean replacing the A levels by another system of terminal examination.

The Government, however, is keen to maintain A levels (as the Gold Standard of the educational system!) and to broaden the diet by the use of AS levels (Advanced Supplementary examinations) (DES, 1989). These AS levels would be as difficult as A levels but 0.5 of the size. It is intended that while some students do 3 A levels, others will do 2 A levels and 2 ASs, others one A level and 4 ASs; thus causing greater breadth and flexibility. In practice, the uptake of AS courses in the physical sciences has

been very slight, due partly to an unconvincing rationale and partly to logistical problems. (In 1990 there were only 1873 entries for AS physics and 984 entries for AS chemistry - compared with 45 000 entries for A level physics). Certainly there are proposals to reform all of the A level syllabuses by September 1994.

The Government is also committed to raising the status of the various vocational courses, such as BTEC and City and Guilds courses. By introducing an overarching system of standardisation (The CVQ, Certificate of Vocational Qualifications) it is intended that such vocational courses will gain greater acceptance. It is also proposed that a common diploma of advanced studies, including both A levels and vocational certification, will ensure that both types of course are given equal parity.

Many bodies (NCC, 1990; NCVQ, 1991), following the trends in GCSE and the more vocational courses, are also suggesting that all 16-19 courses should encompass various "core skills". These would, typically, be Communication, Problem-solving, Personal skills, Numeracy, Information Technology and Foreign language competence. It is suggested that these be taught, and examined, in all courses at the 16-19 age range.

Recent Developments in 16-19 Physics

With such a turmoil of initiatives battling for domination in the 16-19 curriculum, it is surprising that any constructive changes are happening in the physics syllabuses themselves. But there are some!

Nuffield A level Physics has been modified slightly, reducing the content throughout and moving the topics on electronics and thermodynamics out of the written examination and into a separate written project assessment. It is still a popular course, producing first rate work - especially through the individual practical investigations. Its advocates claim that it already incorporates all of the core-skills being recently advocated, and has done for the last 20 years.

The traditional A level boards are steadily changing their syllabuses, bit by bit. Some (eg JMB) are introducing a Core plus Option model. In this, 35% of the final marks are awarded for the students work in one of the options that they (or their teachers) haven chosen. They select one from Fluids and waves, Nuclear physics, Optical instruments, Rotational dynamics, Electronics, Astronomy, Medical physics, and the Physics of materials. This option choice enables the students to get into considerable depth in one particular area of physics. Medical physics is a particularly popular one.

The Cambridge examination board (UCLES, 1991) has gone further and introduced a modular pattern for all of the sciences, in which students may either study six modules in a single science, or may take twelve (or six) modules from across the sciences and get a double (or single) award in science. The physics modules on offer are Physics foundations, Radioactivity and health physics, Matter, Predictability and chaos. Transportation, Communication, Cosmology and Unifying concepts. A student wishing to get a physics award must take the first and last of these modules and four others. The structure ensures

that all students complete an Extended Study Module which provides them with an opportunity to carry out an extended scientific investigation, communicate by extended prose, look at science in an industrial context, and gain experience in 'the world of work'. This course has just started, in September 1991, and looks providing much of the flexibility, stimulation and relevance that many teachers are seeking.

One final development might be mentioned which is, as yet, just a "twinkle in the eye". Following the Salters Chemistry and Salters Science courses at GCSE, a Salters A level Chemistry course has been developed which is now in its final stage of piloting. All of these courses start with, and stress, modern applications of science and draw the theoretical ideas out from them.

Recently a group of physics teachers and educators met at York with the Salters chemists, and some biologists, and recommended that a parallel A level Salters Physics course should be developed. If funding and other developments permit, such a course might be available for September 1995.

References

- Avison, J.H. & D.Evans (1989). Post-16 Physics Courses - breadth or depth, *Physics Education*, 24, 2.
- DES (1989). *GCE advanced supplementary examinations; the first two years*, London: HMSO.
- Higginson, G. (1988). *Advancing A levels*, London: HMSO.
- Morris, J.R.S. (1990). 16 to 19 - a Menu of Opportunity, *School Science Review*, 71, 257.
- NCC (1990). *Core Skills 16-19*, York: NCC.
- NCVQ (1990). *Common learning outcomes; core skills in A/AS levels and NVQs*. London: NCVQ.
- Royal Society, Fellowship of Engineering and Institute of Physics (1988). *School Physics and Careers in Engineering*, London: The Royal Society.
- Smithers A. & P.Robinson (1989). *Increasing Participation in Higher Education*, London: BP Educational Service.
- UCLES (1991). *GCSE AS and A level; Modular Sciences*. Cambridge: University of Cambridge Local Examination Syhdicate.
- Woolnough, B.E. (Ed.)(1990). *Making Choices, An Enquiry into the Attitudes of Sixth-formers towards Choice of Science and Technology Courses in Higher Education*. Oxford: Oxford University Department of Educational Studies.
- Woolnough, B.E. (1991). *The Making of Engineers and Scientists, Factors Affecting Schools Success in Producing Engineers and Scientists*. Oxford: Oxford University Department of Educational Studies.



Aanpak aansluitingsprobleem HAVO-HBO; de wil lijkt er te zijn, maar nu nog de weg

J. H. van Dijk



Samenvatting

Herstructurering van de bovenbouw HAVO en propaedeuse HBO is nodig om het aansluitingsprobleem rigoreus aan te pakken. Uitgangspunt bij de herstructureringen is dat studievaardigheidsonderwijs een centrale plaats dient te krijgen in zowel het curriculum van het HAVO als HBO en wel geïntegreerd in het vakonderwijs. Het vak natuurkunde zal daarin een voorname rol spelen om het kunnen oplossen van complexe vraagstukken vorm te geven. Een belangrijk uitgangspunt bij de herstructurering van de propaedeuse in het HBO moet zijn dat het HAVO wordt gezien als de genormeerde instroom.

Uitvoering van beide herstructureringen dient zoveel mogelijk aan de basis plaats te vinden d.w.z. door docenten bovenbouw HAVO en docenten propaedeuse HBO. Essentiële documenten voor deze herstructurering vormen de instroomprofielen (dit zijn beschrijvingen van de beginvereisten voor dominante studierichtingen in het HBO) en mogelijk de doorstroomprofielen van het Voortgezet Onderwijs.

Laten we niet wachten op de profielnota 2e fase voortgezet onderwijs maar proberen onrecht te doen aan de conclusie uit het OESO-rapport over het Nederlands onderwijs van 1990 n.l. *"In het Nederlands onderwijs is men zeer gedreven in het tot in detail ontleden van problemen, maar er bestaat een algemene weerzin tegen oplossingen"*.

1. Aansluitingsprobleem- kwantitatief

In september 1991 hebben ruim 60.000 studenten zich ingeschreven voor een studie bij het Hoger Beroepsonderwijs. Aan de hand van een aantal cohortstudies van het CBS, waarbij ieder jaar een lichter van studenten gevolgd wordt, is een voorspelling te maken over studieuitval en studiesucces. Indien de lijn uit de afgelopen jaren wordt doorgetrokken zullen van deze 60.000 beginnende studenten in december 1991 al 6.000 vertrokken

zijn. In augustus 1993 zullen er van het cohort 1991 nog eens 14.000 de studie hebben gestaakt.

Indien we alleen de studenten volgen die direct van het HAVO afkomen en doorstromen naar het HEAO of HTO dan ziet het beeld er nog triester uit. Van de totaal 4.400 instromende Havisten zal in augustus 1993 ruim de helft het HEAO/HTO onderwijs verlaten hebben.

Het zal duidelijk zijn dat, behalve dat dit de nodige frustraties oplevert voor student en docent er sprake is van een grove verspilling van talent en overheidsmiddelen. De oorzaken voor de uitval in de propaedeuse zijn in verschillende studies onderzocht en kunnen worden samengevat onder de volgende drie punten:

- I. Problemen met aansluiting vanuit het voortgezet onderwijs (dit betreft voornamelijk de HAVO-HBO aansluiting)
- II. De studie valt tegen (dit betreft hoofdzakelijk de discrepantie tussen oorspronkelijke verwachtingen en de feitelijke situatie)
- III. Andere problemen zoals het tegenvallen van het schoolklimaat en persoonlijke problemen

2. Karakterisering aansluitingsproblematiek HAVO-HBO

Er zijn 4 actoren betrokken bij het aansluitingsprobleem te weten de leerling/student, de HBO-instelling, de VO-instelling en de overheid. Voor alle vier actoren is het een probleem en allen dragen, onbedoeld en soms onbewust, bij aan het aansluitingsprobleem.

Zo ontstaat door het geringere werktempo op het HAVO een fiks aansluitingsprobleem op het HBO waar direct al in de propaedeuse een fors marstempo gebruikelijk is. Met dit verschil in werkcultuur komt de Havist het HBO binnen en het HBO neemt de tijd er niet voor om dit cultuurpatroon om te buigen.

Ook het eindexamenprogramma van het HAVO dat sterk gericht is op reproductie van feiten, werkt in de hand dat aan productief verwerken van de leerstof weinig aandacht

wordt besteed. De docent op het HBO gaat in vele gevallen ervan uit dat de student op een productieve wijze kan omgaan met de leerstof.

Verder is er de algemene klacht dat het potentieel van de Havist te weinig wordt aangesproken.

In het HBO laat het didactisch klimaat te wensen over.

Tevens is er grote onduidelijkheid over de begrepen die de afzonderlijke sectoren aan de havisten stellen.

Het HBO is vooral gericht op een goede aansluiting onderwijs-arbeidsmarkt en doet weinig aan de leerbaarheid van het curriculum in met name de propaedeuse. Door de grote instroom VWO-ers en MBO-ers (goed voor ca 60% van de instroom) is het curriculum vooral op hen gericht. Centraal in de aansluitingsproblematiek staan de gebrekkige studievaardigheden van de Havist en soms de onwil en onmacht van het HBO dit te verbeteren.

Voor een aanpassing van het curriculum van de bovenbouw HAVO en propaedeuse HBO zullen zowel inspanningen van het HBO als van het HAVO zelf nodig zijn. Een gezamenlijke aanpak zou op korte termijn tot een verbetering van de aansluiting kunnen leiden.

Het uiteindelijk resultaat moet zijn dat het HAVO-diploma een succesvolle studie in het HBO mogelijk maakt. Het HBO dient het HAVO als de genormeerde instroom te aanvaarden en het curriculum daarop af te stemmen. Voor de MBO- en VWO-instroom moeten aparte studieroutes gemaakt worden.

3. Meer over studievaardigheden

Studievaardigheid blijkt een cruciale rol te spelen in de aansluitingsproblematiek. Wat wordt zoal verstaan onder studievaardigheden?

studietijd kunnen plannen

- * overzicht maken van activiteiten
- * taxeren benodigde tijd
- * uitzetten in de tijd
- * bijstellen planning

met (nieuwe) studiestof kunnen omgaan

- * zich te oriënteren
- * bestuderen van teksten (leesvaardigheden)
- * hoofd- en bijzaken onderscheiden
- * creatief met nieuwe leerstof kunnen omgaan, zodat de kennis bruikbaar is in vergelijkbare situaties

het systematisch kunnen oplossen van problemen

- * het analyseren (bijv van een casus)
- * het maken van een oplossingsroute
- * het uitvoeren
- * het reflecteren

4. Oplossingen aansluitingsproblematiek

Globaal kan aan een drietal soorten maatregelen gedacht worden, n.l. maatregelen die binnen het HBO genomen worden, binnen het HAVO of hele rigoureuze maatregelen die ertoe leiden dat het HAVO geïntegreerd wordt in het VWO.

De meest realistische weg is dat zowel binnen het HBO als HAVO maatregelen getroffen worden die uiteindelijk als doel hebben de slaagkans van de havist op het HBO te vergroten.

Kernpunt in diverse voorstellen ter verbetering van de aansluiting HAVO-HBO zijn de contacten tussen het HBO en VO veld.

Zo pleit de *commissie Van Wieringen* voor het vastleggen van instroomkwalificaties in studieprofielen. Deze instroomprofielen kunnen een belangrijke bijdrage leveren in de communicatie met het HAVO, aldus de nota. De HBO-raad heeft dit advies overgenomen. Het opstellen van instroomprofielen is speerpunt geworden in haar activiteiten ter verbetering van de aansluiting. Bij het opstellen van de *instroomprofielen* is voorzien in een uitgebreide consultatie en betrokkenheid van het VO. Het deelplan voor verbetering van de aansluiting HAVO-HBO en voor verbetering van het studierendement in het HBO (onderdeel van het hoofdlijnenakkoord tussen de minister en het HBO) omvat o.a. het punt werkrelaties tussen het VO en HBO.

In de nota "Profiel van de Tweede Fase VO" is er sprake van een optimale toerusting door profilering. Het onderwijsaanbod wordt meer expliciet afgestemd op kwalificaties die nodig zijn voor clusters van studierichtingen in het Hoger Beroepsonderwijs. Het spreekt voor zich dat hiervoor intensieve contacten nodig zijn tussen het VO en HBO, omdat er steeds meer een beroep wordt gedaan op het eigen meesterschap van de scholen. Ook bij de herziening van het uvensysteem in relatie tot doorstroomprofielen zal een betrokkenheid van de werkvloer noodzakelijk zijn om bijvoorbeeld het stage lopen van leerlingen op een HBO-instelling een zinvolle invulling te geven.

5. Huidige ontwikkelingen op de VO-scholen en Hogescholen

Op dit ogenblik is men bezig met het uitvoeren van een aantal projecten die allemaal als doel hebben de aansluiting tussen het HAVO en HBO te verbeteren.

Niet onvermeld mag blijven dat zeker het eigen belang van de deelnemende scholen meetelt; een essentiële zaak die een gezonde groei van de school voor de jaren negentig moet waarborgen.

De projecten kunnen in een 5-tal groepen worden onderverdeeld. Dit zijn projecten¹⁾ die zich richten op:

1. vooral het verbeteren van *studievaardigheden*. Er werden afzonderlijke lessen studievaardigheden gegeven in 4 HAVO (Oosterlicht College Nieuwegein).
2. verbetering *studie en beroepskeuze*. Op het Thomas a Kempis College te Arnhem is een begeleidingssysteem waarbij wekelijks een uur gereserveerd is voor studie- en beroepskeuze. De Hogeschool Den Bosch licht de

¹⁾ dit is geen volledige opsomming

decanen uit de regio uitgebreid voor; ook is er een regelmatig overleg over de aansluitingsproblemen. Ook in Alkmaar is er een jaarlijks overleg tussen de dekenkring en de Hogeschool.

3. verbetering aansluiting in het *tussentrajekt*. De Hogescholen Enschede, Den Bosch, Haarlem en Utrecht experimenteren uitgebreid met zomercursussen wis- en natuurkunde. Het lijkt of de genoemde Hogescholen allemaal tot de conclusie komen dat de zomercursussen niet tot significante hogere cijfers leiden in de studie maar wel tot het sneller aan de slag gaan, het ontwikkelen van een hoger tempo en het beter beheersen van de stof. Dit alles leidt tot minder uitval.
4. verbetering aansluiting door een *extra jaar* te geven. Het Zernike College te Groningen, het Spaarne Lyceum te Haarlem, het Mendel College te Haarlem, het Cobbenhage College te Tilburg en de Jan Arentz Scholengemeenschap te Alkmaar organiseren een 5 VWO+ klas waarbij een herindeling van de leerstofinhouden moet leiden tot een betere aansluiting op het HEAO en HTO.
5. het *hele* traject. Zowel de projecten van de Hogeschool Enschede als de Hogeschool Utrecht richten zich op verbetering en aanpassing van het onderwijs in het VO en HBO. Zo worden er leerpakketten gemaakt (binnen de Hogeschool Utrecht in gemengde VO-HBO werkgroepen) voor het VO, HBO en tussengebied (het laatste in de vorm van zomercursussen). Het vergroten van de studievoordigheid en zelfstandigheid van de leerling/student staat daarbij centraal. Verder is vermeldenswaard dat studenten van de HEAO van de Hogeschool Windesheim op vrijwillige basis een *toets* wiskunde kunnen laten afnemen. De resultaten van de toets geven de student informatie over zijn tekortkomingen. D.m.v. een zelfstudiepakket kunnen de studenten vervolgens hun deficiënties wegwerken. Met de toets kunnen de studenten een vrijstelling halen ter waarde van 80 uren studiebelasting.

6. Landelijke ontwikkelingen

6.1 De nota 'Profiel van de tweede fase voortgezet onderwijs'

De nota 'Profiel van de tweede fase voortgezet onderwijs' is in juni 1991 uitgebracht. Hierin wordt een beleid uitgestippeld ter verbetering van de kwaliteit in de hogere leerjaren van het voortgezet onderwijs.

Voor het HAVO betekent dit dat de voorgestelde maatregelen en instrumenten moeten leiden tot een adequate voorbereiding op het Hoger Beroepsonderwijs.

Aanleiding van de nota was een groot aantal knelpunten. Het HAVO biedt de afgestudeerden maar een matige kwalificatie: er stromen te weinig leerlingen door naar het HBO (en WO). Diegenen die wel naar het HBO en WO gaan, hebben een grote kans de gekozen opleiding niet af te maken. Leerlingen maken lange en kostbare omwegen in het onderwijstraject. De gemiddelde verblijfsduur in

het MBO, HAVO en VWO is veel hoger dan de cursusduur en er vallen teveel leerlingen uit.

Met het oog op een optimale toerusting wordt binnen het HAVO het onderwijs meer expliciet afgestemd op kwalificaties die nodig zijn voor clusters van studierichtingen in het Hoger Beroepsonderwijs. Hiertoe wordt een beperkt aantal doorstroomprofielen in het HAVO ontwikkeld.

Inzet voor verbetering van het HAVO is een inhoudelijke vernieuwing. Voor het HAVO worden vier doorstroomprofielen ontwikkeld:

- * natuur en techniek (voor het technische cluster aan studierichtingen)
- * natuur en gezondheidszorg (voor het cluster studierichtingen in de gezondheidszorg)
- * economie en maatschappij (voor economische vervolgstudies)
- * cultuur en maatschappij (voor vervolgstudies in zowel sociale als culturele richtingen)

Globaal zal elk doorstroomprofiel bestaan uit: een algemeen verplicht deel (voor elk profiel gelijk); een profielverplicht deel (specifiek voor elk profiel) en een vrij deel. Ze zullen inhoudelijk beschreven worden in termen van vakken en delen van vakken.

Zo zullen de bestaande vakken herprogrammeerd worden in een algemeen (vormend) deel en een specifiek deel dat voorbereid op een groep studierichtingen (profieldeel). In het vrije deel is het voor de leerling mogelijk een ander profiel erbij te kiezen of zich verder te verdiepen in het gekozen profieldeel om zich zo een betere startkwalificatie te verwerven. Dit vrije deel biedt de scholen de mogelijkheid zich te profileren.

6.2. Hoofdlijnenakkoord

In december 1990 heeft de minister van onderwijs en wetenschappen met de Hogescholen een hoofdlijnenakkoord gesloten voor de periode 1990-1993. Wat betreft het onderwijs heeft dit als doelstelling uitval en vertraging in het HBO te verminderen. Vooral de Havist staat centraal in de te nemen maatregelen.

Landelijk (HBO-raad) zijn als gevolg van het hoofdlijnenakkoord de volgende ontwikkelingen te verwachten:

- *het ontwikkelen van instroomprofielen*

In de nota profiel van de tweede fase voortgezet onderwijs worden o.a. doorstroomprofielen in het HAVO en VWO voorgesteld. Volgens de nota zullen die profielen omschreven worden aan de hand van door het hoger onderwijs te ontwikkelen instroomprofielen (in het hoofdlijnenakkoord studieprofielen genoemd). Met organisaties van het VO heeft overleg plaats gevonden over de nota en zijn afspraken gemaakt over de wijze waarop voor clusters van opleidingen in het HBO instroomprofielen worden ontwikkeld. Het LICOR, CITO en SLO vervullen daarbij een ondersteunende functie. Behalve instroomprofielen worden tevens voorstellen geformuleerd over de wijze

waarop in de bovenbouw van het VO en de propaedeuse in het HBO aan een betere aansluiting kan worden gewerkt.

- *het maken van deficiëntietoetsen en remediërende materialen*

Er is grote behoefte gebleken aan deficiëntietoetsen. Vijf Hogescholen zijn i.s.m. het CITO begonnen met het ontwerpen van een modulair opgebouwde toets voor het vak wiskunde.

Verder zal een onderzoek worden gedaan naar de behoefte aan andere (vak)deficiëntietoetsen en de daarbij horende remediërende materialen.

- *aangaan van werkrelaties VO-HBO*

Op dit ogenblik vindt er een verkenning plaats naar onderwijsorganisatorische en -inhoudelijke mogelijkheden van werkrelaties. De verkenning zal Hogescholen een handreiking bieden voor het opzetten, organiseren en onderhouden van werkrelaties met het VO.

Verder is in het hoofdlijnenakkoord opgenomen dat Hogescholen zelf specifieke invulling geven aan:

- *visieontwikkeling* omtrent wenselijke identiteit, inhoud en vormgeving. Op dit ogenblik vindt er op een zestal hogescholen onderzoek plaats. De resultaten van die onderzoeken komen maart 1992 beschikbaar.
- *individuele studieroutes*; voor studenten die in staat zijn sneller te kunnen afstuderen, bijvoorbeeld door hun vooropleiding, worden studieroutes ontwikkeld waardoor dit mogelijk wordt. Diverse Hogescholen geven daar op dit ogenblik uitvoering aan door afzonderlijke studieroutes te maken voor instromers vanuit het MBO en VWO.

Elektrische processen in het hart

R.M. Heethaar



Inleiding

Bij bestudering van de mens kan men in verwondering het complexe functioneren van miljoenen cellen in onderlinge wisselwerking en harmonie vaststellen. Communicatie, creativiteit, gedachtenvorming, reactie op prikkels (licht, geluid, warmte etc.) zijn daar slechts enkele intrigerende voorbeelden van. Een complex systeem zoals de mens vormt een ideaal werkterrein voor de fysicus. Elk orgaan heeft zo zijn eigen karakteristieken. Men kan zijn hart ophalen aan de studie van het oog of raakt niet uitgekeken op het hart.

Voor het in stand houden van een adequate bloedvoorziening van het lichaam pompt het hart voortdurend bloed rond. Voor iemand in rust bedraagt deze hoeveelheid ongeveer 5 liter per minuut. Voor een geoefend atleet, die een topprestatie levert kan dit zelfs oplopen tot 25-30 liter per minuut. Aan deze sterk wisselende behoefte aan bloed kan door het hart worden voldaan door aanpassing van hartfrequentie en slagvolume. Gecomplieerde regelsystemen in het lichaam zorgen ervoor dat de bloeddruk ondanks grote verschillen in activiteit toch binnen nauwe grenzen blijft. Bij zware inspanning of bij plotselinge veranderingen in lichaamspositie zorgen deze systemen ervoor dat geen onaangename sensaties ten gevolge van drukveranderingen worden waargenomen. Het terrein van hart en circulatie biedt vele mogelijkheden voor sterk uiteenlopend fysisch onderzoek. Elektrische processen aan de celmembranen liggen ten grondslag aan de hartcontracties. Een goede kennis van deze processen kan inzicht verschaffen in de normale hartwerking en afwijkingen daarin. Kennis van volumegeleiding speelt een belangrijke rol bij de interpretatie van de elektrische hartactiviteit zoals die in het elektrocardiogram (ECG) kan worden geregistreerd. Kennis van de mechanica van deformeerbare materialen kan inzicht verschaffen in de (mechanische) spanningsopbouw in de hartwanden tijdens contractie en relaxatie. Rheologische kennis is nodig voor een goed begrip van het transport van bloed door de zo gecomplieerde vaatstructuur. Kennis van de interactie van straling

en weefsel maakt het mogelijk meetinstrumenten te ontwikkelen, die (op invasieve of niet-invasieve wijze) informatie verschaffen over het functioneren van onze organen. Enkele voorbeelden daarvan zijn de röntgentechniek, ultrageluids Doppler bloedsnelheidsmetingen en infarctgrootte bepaling met radioactieve stoffen¹.

Het celmembraan

Ionentransporten² door de celmembranen van specifieke hartcellen zijn de oorzaak van de elektrische hartactiviteit. Vooral Na^+ , K^+ , Ca^{++} en Cl^- ionen zijn hierbij van belang. Voor een cel "in rusttoestand" stelt zich een dynamisch evenwicht in: efflux en influx van de ionen door het celmembraan zijn aan elkaar gelijk. Ondanks dit evenwicht is er echter een bepaalde concentratiegradiënt per ionsoort. Zo is de Na^+ concentratie buiten de cel 12 maal hoger dan er binnen terwijl die van K^+ in de cel ongeveer 39 maal hoger is dan er buiten. Het potentiaalverschil over het membraan veroorzaakt door één ionsoort wordt weergegeven door de wet van Nernst³:

$$V = \frac{RT}{Fz} \ln \frac{C_0}{C_i}$$

waarbij:

R de gasconstante ($8,3 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$),

T de absolute temperatuur ($^{\circ}\text{K}$),

F de constante van Faraday ($9,6 \cdot 10^4 \text{ Cmol}^{-1}$),

z de valentie van het ion en

C_0 en C_i de ionconcentraties buiten en binnen de cel zijn.

Het potentiaalverschil over het membraan, veroorzaakt door alle ionsoorten tesamen, is gelijk aan de som van de potentiaalverschillen van de afzonderlijke ionsoorten. Voor een hartspiercel "in rust" bedraagt dit ongeveer -90 mV (het inwendige van de cel is negatief t.o.v. het uitwendige). Onderzoek heeft uitgewezen dat het celmembraan voor de verschillende ionsoorten kanalen heeft voor

actief transport, waarvan de doorlaatbaarheid sterk afhankelijk is van het moment in de hartcyclus.

Door het zorgvuldig inbrengen van een micro-elektrode in een (geïsoleerde) cel en een referentie-elektrode er buiten kan het potentiaalverschil kunstmatig worden beïnvloed worden. Gevonden is dat er een bepaald potentiaalverschil is (de drempelpotentiaal) waarbij plotseling de Na^+ kanalen opengaan en Na^+ -ionen in grote getale de cel binnendringen. Het potentiaalverschil over het membraan keert daarbij zelfs van teken om. Deze plotselinge conductantieverandering voor Na^+ -ionen wordt gevolgd door andere actieve processen, die leiden tot ionenstromen door het celmembraan van de andere ionsoorten. Uit dit soort experimenten met geïsoleerde lange zenuwvezels van een bepaalde vis (Ioligo pealeii) formuleerden Hodgkin en Huxley^{2,4} in 1952 de vergelijkingen voor de ionenstroom door het membraan I_g en de membraanspanning V :

$$I_g = C \frac{\partial V}{\partial t} g_{\text{Na}} m^3 h (V - V_{\text{Na}}) + g_K n^4 (V - V_K) + g_L (V - V_L) \quad (1)$$

waarbij m , h en n kansfuncties zijn, die elk voldoen aan een relatie:

$$\frac{dk}{dt} = \phi(T) \{ (1 - k) \alpha_k(V) - k \beta_k(V) \}$$

waarbij: $k = m, h$ of n . De constanten g_{Na} , g_K , g_L , α_k en β_k zijn experimenteel bepaald. De functie $\phi(T)$ is temperatuur afhankelijk. Voor $6,3^\circ\text{C}$, de temperatuur waarbij Hodgkin en Huxley hun experimenten deden geldt $\phi(6,3) = 1$. Dergelijke vergelijkingen zijn later ook voor zenuwvezels van andere diersoorten opgesteld.

Een verstoring in de membraanpotentiaal op een bepaalde plaats breidt zich snel uit over het membraan en de aangrenzende cellen. Rekeninghoudende met de membraan capaciteit C en interne en externe weerstanden r_i en r_e kan onderstaande vergelijking (kabelvergelijking) worden afgeleid:²

$$C \frac{\partial V}{\partial t} = \frac{1}{r_i + r_e} \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} - I_g$$

Deze relatie beschrijft het potentiaalverloop als functie van de tijd (t) en plaats (x) langs een zenuwvezel. Indien we willen begrijpen hoe de elektrische activiteit in een drie-dimensionale structuur, zoals het hart verloopt, is uitbreiding van deze formule in meerdere dimensies noodzakelijk. Met behulp van numerieke methoden en krachtige computers is het verloop van de potentiaal in het hart te berekenen.

In een gezond hart begint de elektrische activatie in een kleine groep cellen (de sinusknop) in de rechter boezem bij de inmonding van de bovenste holle ader. Deze cellen hebben de eigenschap dat zij zelf regelmatig de drempelpotentiaal bereiken (pacemakercellen). Deze cellen bepalen dan ook de hartfrequentie. Vanuit de sinusknop verloopt de elektrische golf op een karakteristieke wijze over de voorkamers of boezems. Tussen boezems en kamers bevindt zich een tweede groep cellen, de AV knoop die overgaat in de bundel van His en die de enige elektrisch geleidende verbinding vormen tussen boezems en kamers. De impuls van de boezems wordt door de AV knoop sterk vertraagd voortgeleid naar de kamers. Als de elektrische impuls in de AV knoop wordt voortgeleid trekken de boezems samen en pompen het bloed naar de kamers. Als de impuls door de AV knoop en bundel van His heen is, bereikt hij de geleidingsbundels van de kamers (linker en rechter bundel), die geleidelijk overgaan in een fijn vertakt netwerk van zenuwvezels: de Purkinje vezels. Afwijkingen in het elektrische gedrag in het hart kunnen tot klachten en zelfs tot fatale gebeurtenissen leiden. Dysfunctie van de sinusknop kan bijvoorbeeld leiden tot onacceptabel lange intervallen tussen twee hartcontracties. Implantatie van een pacemaker kan dit probleem opheffen. De pacemaker geeft via elektroden regelmatig elektrische pulsen af aan de hartcellen van de kamers, die daardoor hun drempelpotentiaal bereiken en daarna een elektrische activatie vertonen, die vervolgens leidt tot een kamercontractie⁵.

Zoals reeds gezegd leidt modelonderzoek tot inzicht in het verloop van de potentiaal in de hartspeer. Daar het lichaam een (anisotrope, inhomogene) volumegeleider is, is de elektrische hartactiviteit ook meetbaar aan de huid. Een dergelijke registratie noemt men een electrocardiogram of ECG. De Nederlandse Nobelprijswinnaar Einthoven ontwikkelde reeds in 1903 zijn snaargalvanometer waarmee hij de elektrische activiteit van het hart kon registreren. Voor een aantal hartziekten, vooral die waarbij een stoornis in het elektrische geleidingsstelsel aanwezig is, is uit het ECG te bepalen welke stoornis in het hart aanwezig is. Helaas is het niet mogelijk alle stoornissen in de hartspeer terug te vinden in het ECG, vooral stoornissen waarbij het probleem in de meer mechanische aspecten van de hartwerking te zoeken is (b.v. een slecht functionerende klep) zijn niet of nauwelijks uit het ECG vast te stellen.

Onderwijsmodellen

Voor het middelbaar onderwijs zijn diverse modellen te ontwikkelen, die het inzicht in de elektrische processen in het lichaam kunnen verdiepen. Een tweetal modellen zal hieronder kort worden behandeld.

Model voor celactiviteit

Fitzhugh⁶ toonde in 1961 aan dat de bovengenoemde Hodgkin-Huxley vergelijkingen door combinatie van

variabelen ($x=V-36m$ en $y=0,5*(n-h)$) overgaan in twee gekoppelde differentiaalvergelijkingen:

$$I = \frac{1}{c} \frac{dx}{dt} - y - \left(x - \frac{x^3}{3}\right)$$

(2)

$$c \frac{dy}{dt} + by = a - y$$

Deze vergelijkingen worden ook wel de Bonhoeffer-Van der Pol vergelijkingen genoemd. Hierin stellen a, b en c constanten voor, die voldoen aan de relaties:

$$0 < b < 1, \quad b < c^2 \quad \text{en} \quad 1 - 2/3b < a < 1.$$

Voor het elektronische circuit, zoals in fig.1 is weergegeven, waarbij T een tunneldiode voorstelt, R een weerstand, L een spoel, C een condensator en E een spanningsbron gelden de volgende relaties:

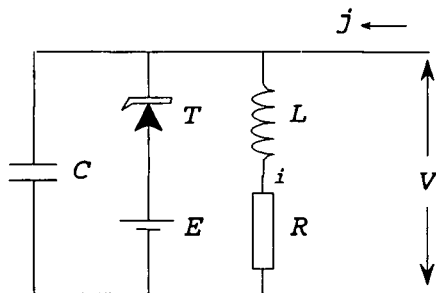
$$j = C \frac{dV}{d\tau} - i - f(e)$$

$$L \frac{di}{d\tau} + Ri = -V = e - E$$

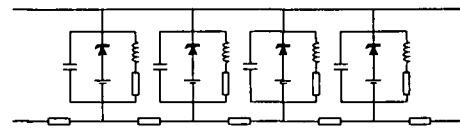
waarbij $f(e)$ de stroomspanningskarakteristiek van de tunneldiode voorstelt. Deze functie kan goed benaderd

worden door een derde graads curve. Met

dit gegeven en door substitutie van variabelen kan worden aangetoond dat de vergelijkingen onder (2) overgaan in (1), m.a.w. het elektronische circuit van fig.1 vertoont bij aansturing met een elektrische puls een exciteerbaar gedrag dat te vergelijken is met dat van een hartspiercel. Serieschakeling van identieke eenheden achter elkaar leidt tot een exciteerbare transmissielijn (zie fig.2.), waarlangs duidelijk de verschillende elektrische activiteiten van de afzonderlijke cellen en hun tijdsvertragingen zijn te meten⁷.



Figuur 1: Elektronisch model, voorstellende een exciteerbare zenuwcel.



Figuur 2: Elektronisch model van in serie geschakelde exciteerbare cellen.

Dipoolmodel

2De elektrische hartactiviteit

t.g.v. de ionenprocessen aan de celmembranen kan in goede benadering worden voorgesteld door een roterende elektrische dipool, waarvan de oorsprong ligt in het hart. Grote en richting van deze dipool veranderen voortdurend.

Afgeleid kan worden dat het potentiaalverschil dat aan de huid kan worden gemeten (b.v. op de plaatsen A en B) evenredig is met de projectie van deze dipoolvector (hartvector) op de verbindinglijn van de twee afleidpunten. Een eenvoudig model, in de vorm van het menselijk lichaam, waarin zich een roterende dipool bevindt in een elektrisch geleidende vloeistof (water) waarin op willekeurige plaatsen elektroden kunnen worden gelegd voor het meten van een "ECG" is eenvoudig uitvoerbaar en illustratief (zie fig.3). Met een geavanceerdere uitvoering kan de dipool gestuurd worden door een stappenmotor via een personal computer. Middels een AD/DA kaart kan dan signaalregistratie en regeling van de tijds- en hoekafhankelijke dipoolsterkte plaatsvinden.

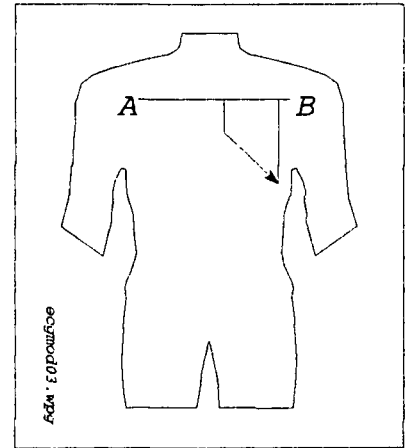
Voor aanvullende gegevens over deze projecten kan men zich wenden tot de auteur van dit artikel.

Referenties

1. Christensen, E.E., Curry, T.S., Dowdey, J.E.: *An introduction to the physics of diagnostic radiology*, Lea and Febiger, Philadelphia, 1978.

2. Cole, K.S.: *Membranes, Ions and Impulses*, University of California Press, Berkeley, 1968

3. Ruch, T.C., Patton, H.D.: *Physiology and Biophysics*, Saunders Company, Philadelphia, 1974



Figuur 3: Modelrepresentatie van de elektrische activiteit van het hart door een roterende dipoolvector.

4. Hodgkin, A.L., Huxley, A.F., *A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve*. J. Physiol. 117: 500-544, 1952.
5. Thalen, H.J.Th., Van den Berg, J.W., Homan van der Heide, J.N., Nieveen, J.: *The artificial Pacemaker*, Van Gorcum Publishers, Assen, 1970
6. FitzHugh, R.: *Impulses and physiological states in theoretical models of nerve membrane*. Biophysical Journal 1, 445, 1961.
7. Heethaar, R.M., Denier van der Gon, J.J. en Meijler, F.L.: *Interpretation of some properties of AV conduction with the help of analog simulation*. European Journal of Cardiology, 1,1, 87-93, 1973.

Inzicht in bovenbouw natuurkunde-onderwijs¹⁾

P.L.Lijnse

1. Inleiding

Dit verhaal wil gaan over inzicht in bovenbouw natuurkunde onderwijs. Dat kan nog tweeledig opgevat worden. Het is mijn bedoeling om iets te laten zien van hoe uit didactisch onderzoek inzicht wordt verkregen in het inzicht dat bij leerlingen al of niet aanwezig blijkt te zijn. En hoe reflectie hierop kan leiden tot inzicht in leer- en onderwijsprocessen. Dit alles vanuit de gedachte dat we hiermee kunnen komen tot een verdere ontwikkeling van de natuurkunde-didactiek.

Mijn verhaal zal slechts schetsmatig zijn. Ik zal enkele voorbeelden bespreken, genomen uit diverse gebieden van de bovenbouw-natuurkunde, en wel uit de mechanica, over energie, uit de atoomfysica en over elementaire deeltjes. Deze selectie is gemaakt op grond van mijn persoonlijke betrokkenheid bij didactisch onderzoek op dit gebied. Maar ik kan er ook een diepere reden voor geven. Natuurkunde gaat over de aard en het gedrag van materie(deeltjes). Dat gedrag wordt beschreven met behulp van causale dynamische regels, binnen randvoorwaarden gesteld door behoudsprincipes. Kortom, mijn voorbeelden raken de kern van de natuurkunde.

De bespreking van deze voorbeelden zal niet puur op zichzelf plaats vinden, maar gebeuren in het licht van de ideeën van de WEN.

Nu heeft veel didactisch onderzoek zich de laatste jaren toegelegd op het opsporen van begripsproblemen bij leerlingen. In de lerarenwereld is dat niet altijd even positief ontvangen, omdat, hoe interessant die onvermoede begripsproblemen misschien ook mogen zijn, ze tevens als een zekere beschuldiging kunnen worden ervaren. Alsof het opsporen ervan zou samenvallen met het blootleggen van de didactische tekortkomingen van de leraar. Dit laatste is geenszins de bedoeling, hetgeen al moge blijken uit het feit dat het onderzoek weliswaar problemen opspoorde, maar nog lang niet in staat is daarvoor ook goede oplossingen te bieden. In het zoeken naar deze oplossingen gaat het er juist om dat leraren en onderzoekers

samenwerken, in een gezamenlijk streven de grenzen van hun didactische know how af te tasten en te verleggen. De gedachte dat didactisch onderzoek vooral laat zien dat het met het natuurkunde-onderwijs dus maar slecht gesteld is, wijs ik in deze simplistische vorm dan ook af. In dit verband kan ik me, mutatis mutandis, aansluiten bij Wallage, wanneer hij in zijn voorwoord tot de "profielnota" (1991) schrijft:

"Onderwijsnota's gaan over veel problemen. Dat is een vertekening. Zo wordt gemakkelijk voorbijgegaan aan dat wat goed gaat. Wie zich te veel op problemen concentreert laat de resultaten onderbelicht. Er worden veel resultaten behaald in de tweede fase van het voortgezet onderwijs. En er wordt hard gewerkt".

2. "En er wordt hard gewerkt"

Het Nederlandse natuurkunde-onderwijs slaat internationaal zeker geen slecht figuur, zoals blijkt uit vergelijkende studies en olympiades. Ook het eindexamenniveau is behoorlijk hoog. Terwijl het idee dat er hard gewerkt wordt, op deze conferentie die gaat over de invoering van allerlei WEN-vernieuwingen, geen nader betoog hoeft. Toch moeten we onze ogen niet sluiten voor de reële problemen, die er wel degelijk zijn. Tenslotte is het goede nog altijd de vijand van het betere (of is het net andersom?).

Allereerst brengen deze WEN-vernieuwingen, als uiting van een voortdurend noodzakelijke inhoudelijke "update" van het onderwijs, natuurlijk ook de nodige didactische vragen met zich mee. Daarvoor moet eerst ervaring worden opgebouwd, maar daar valt iets aan te doen (alhoewel over de door de WEN gekozen invulling nog wel wat te zeggen zou zijn). Ernstiger is het probleem van de continue vraag naar efficiency verbetering. Het percentage

¹⁾ Dit is een uitgebreide bewerking van de lezing die op het programma stond, maar die door privé omstandigheden niet is gehouden.

leerlingen dat natuurkunde niet kiest, voortijdig uitvalt, of met moeite het examen haalt, is veel te groot. Ook de aansluitingsproblematiek tussen secundair en tertiair onderwijs dreigt het karakter van een aanhoudende klaagzang te krijgen. Het is natuurlijk prachtig dat de nieuwe profielnota hier nu juist iets structureels aan wil verbeteren, maar het moet nog maar gezien worden in hoeverre dat zal slagen. Het is tenslotte weer een voorstel dat oplossingen zoekt door structuren te veranderen en de didactiek onaangetast te laten.

Als één van de diepere oorzaken van de aansluitingsproblematiek wordt voortdurend het gebrek aan probleemoplossend handelen van de leerlingen naar voren geschoven. Zonder het belang hiervan te willen ontkennen verbaast mij toch steeds dat de relatie van deze problematiek met die van het onvoldoende inzicht zo weinig gelegd wordt. Hoe kan men van iemand verwachten dat hij een probleem kan oplossen als de daarvoor benodigde kennis gewoon niet voldoende aanwezig is? Dan helpt het onderwijzen van "heuristieken" of "strategische kennis" toch gewoon niet echt. Het onderzoek naar begripsproblemen van leerlingen heeft laten zien dat, als het op kwalitatief inzicht aankomt, de leerresultaten vaak veel slechter zijn dan leerkrachten voor mogelijk houden. Licht in dat gebrek aan inzicht dan niet een kernprobleem?

En daarmee ben ik weer terug bij mijn startpunt, de problematiek van het inzicht.

3. WEN: naar wendbare kennis

In het laatste WEN-rapport (1988) wordt onderscheid gemaakt tussen leerstof waarvan algemene en leerstof waarvan beperkte wendbaarheid vereist wordt. Voor de mechanica, bijvoorbeeld, geldt het eerste, d.w.z. dat de begrippen uit de mechanica in alle deelgebieden van de natuurkunde gebruikt moeten kunnen worden. Dit ter onderscheiding van bijvoorbeeld kennis over atoombouw, waarvan de wendbaarheid beperkt mag blijven tot het gebied van de atoomfysica. Welnu, hoe staat het eigenlijk met deze wendbaarheid van de mechanica?

Het is nu precies tien jaar geleden dat ik in een woudschotenlezing het onderscheid tussen "straatbeeld" en "schoolbeeld" introduceerde. Ik deed dat op grond van onderzoek naar het leren van mechanica. Sindsdien zijn de leer- en onderwijsproblemen ten aanzien van dit onderwerp veel uitvoeriger in kaart gebracht. Ik wil daar nu niet verder op ingaan, maar volstaan met twee eenvoudige voorbeelden, die ik neem uit het onderzoek van Van Genderen (1989). Deze legde aan een aantal leerlingen, eind derde en eind vierde klas, een vragenlijst voor gericht op het toetsen van hun kennis ten aanzien van actie-reactie en kracht-tegenkracht. Twee vragen daaruit gingen als volgt.

A. Een auto trekt een caravan met constante snelheid over een vlakke weg. Behalve de trekkracht werken er op de caravan ook wrijvingskrachten (van wegdek en lucht). Is de trekkracht groter dan de wrijvingskrachten?

Antwoordmogelijkheden: ja/nee, weet niet; met toelichting.

Van de eind-derde klas leerlingen antwoordde 85% bevestigend, evenals 80% van de eind-vierde klas leerlingen. De overwegende motivering was: "Anders zou hij niet rijden".

B. Ik probeer een zware kist over een horizontale vloer te schuiven, maar ik krijg er geen beweging in. Is de wrijvingskracht groter dan de kracht van mij?

Hierop antwoordde 65% van de eind-derde klas leerlingen met ja, evenals 62% van de eind-vierde klas leerlingen, met als belangrijkste motivering zoiets als: "De kist is te zwaar".

Wat zegt dit soort vraagjes nu, kunt u zich afvragen? Of, zoals een ervaren leraar onlangs tegen me zei: "Wat willen jullie nu eigenlijk met dat onderzoek? Als ik jullie vragenlijstjes in mijn klassen zou afnemen, zou ik me ook rot schrikken, maar ze halen wel het eindexamen en dat heeft toch een behoorlijk niveau!"

Dat laatste wil ik niet bestrijden, al moeten we juist niet vergeten dat er onderweg daar naar toe al veel zijn afgevallen. Belangrijker is dan toch om ons eens opnieuw af te vragen, wat het eindexamen kunnen halen dan wel precies betekent. Hoe kan het dat leerlingen kennelijk dit soort eenvoudige kwalitatieve vraagjes in grote getale zo slecht beantwoorden? Wat betekent dat voor het leerproces dat ze hebben doorgemaakt?

Op de eerste vraag geeft Van Genderen een gedeeltelijk antwoord door te wijzen op de invloed van leefwereld-denkbelden. In situaties die opgevat kunnen worden als een "krachtmeting" (tegenwoordig noemt men dat een metafoor!) wordt gedacht in termen van "overwinnen van tegenwerking", "sterk-zwak", "passief-actief". Andersson (1986) heeft beargumenteerd dat er in al deze leefwereld-denkbelden, zoals die in meerdere gebieden van het natuurkunde-onderwijs een rol spelen, steeds sprake is van een gemeenschappelijke kern. Deze denkbeelden zijn een uiting van iets wat dieper ligt. Een primitieve notie, die hij omschrijft als de "Experiential Gestalt of Causation". Het betreft hier een vanzelfsprekende manier van hoe we, als het ware in één oogopslag, dagelijkse situaties in termen van oorzaak en gevolg interpreteren. Daarin gaat het steeds om een "agens" (de auto), die, al of niet met behulp van een "instrument" (kracht), invloed uitoefent op een "object" (de caravan) en daarbij een "weerstand" (de wrijving) moet overwinnen. Deze "Gestalt" bepaalt in sterke mate ons causale common sense denken, en verklaart daardoor veel interpretatieproblemen die leerlingen tegenkomen, met name met het leren van mechanica.

Welnu, als het onderwijs niet uitgaat van deze intuïties, dan leidt dit onvermijdelijk tot forcering, of zelfs blokke-

ring, van het leerproces. Leerlingen kunnen dan geen andere uitweg vinden dan nadoen wat de docent voor doet, vaak gepaard gaande met het construeren van "alternatieve betekenissen", of afhaken. We kunnen dit natuurlijk wel misconcepties noemen, maar daarmee leggen we de "schuld" bij de leerling, terwijl die in feite in het onderwijs gezocht moet worden. Ik concludeer daarom, vooralsnog, dat het probleem van de wendbaarheid nog lang niet op de door de WEN gewenste manier is opgelost.

In zijn onderzoek naar het functioneren van het PLON-thema "Verkeer" concludeert Van Genderen dat de context van de "zelfbeweger" (de fietser, bijv.) niet geschikt is als aanleercontext. Leerlingen benaderen deze context onvermijdelijk met de eerder genoemde Gestalt, waarin het "instrument" nu een ongedifferentieerd geheel lijkt van begrippen als kracht, energie, arbeid, vermogen. (Overigens zijn deze fysische termen nu juist niet geschikt om het leerlingdenken adequaat weer te geven). Hij stelt voor om de traditionele volgorde van kinematica, dynamica en energetica, om te keren, zodat dan beter uitgegaan kan worden van de causale interpretaties van leerlingen. We zien hier dus een koppeling geformuleerd tussen de in het onderwijs gevolgde begripsofbouw, de keuze van contexten en de rol van leefwereldintuïties.

Zo'n omkering zou trouwens nog een ander belangrijk voordeel kunnen hebben. De traditionele start met kinematica is enerzijds te verklaren uit de historie van de natuurkunde en de rol van mathematisering daarin, en anderzijds vanuit het idee van "vaklogische elementarisering". Het leidt echter in het onderwijs tot een puur mathematische beschrijving van gekunstelde bewegingen, los van hun oorzaak en zin. Daarmee kan zo'n behandeling welhaast per definitie niet aansluiten bij de ervaring van leerlingen. Omkering van de volgorde zou het mogelijk maken om de mathematisering van dynamische processen te ontwikkelen vanuit die ervaring. Hiertoe biedt de computer, d.m.v. programma's waarmee leerlingen zelf (kwalitatieve en kwantitatieve) dynamische modellen kunnen ontwerpen en uittesten, nieuwe mogelijkheden. Alhoewel de term "modelleren" wel in het WEN-programma voorkomt, is daarbij, mijns inziens, niet gedacht aan "leren fysisch mathematiseren/modelleren" ter ontwikkeling van inzicht in causaal-mathematische beschrijvingen van processen. Het onderzoeken van deze uitdagende mogelijkheid en het uitwerken in "courseware", vraagt echter nog veel inspanning. De vraag is of het WEN-programma daarvoor wel genoeg experimenteer mogelijkheden biedt.

4. WEN: naar "omgevings/toepassingsgerichte natuurkunde (in contexten?)"

In het bovenstaande is al gepreludeerd op een tweede thema: de rol van contexten. Dit thema heeft, door het PLON-project, de nodige discussie opgeroepen, die o.a. bekend is geworden onder de noemer: thematisch en/of schematisch. De WEN heeft zich niet vastgelegd op een keuze daarin, maar heeft zich wel gesteld achter de trend

naar meer omgevings- en toepassingsgerichte natuurkunde en naar meer "kennis in context". Moet leerstof thematisch gestructureerd worden op grond van een of ander goed gekozen voor leerlingen herkenbaar thema, of kan dit beter vanuit de schema's van de natuurkunde gebeuren met meer aandacht voor toepassingen daarna?

In het experimentele PLON-VWO curriculum is gezocht naar een synthese van beide mogelijkheden, in de vorm van een zogenaamde thema/blok structuur. Daarin worden begrippen eerst in een omgevings/toepassingsgerichte thematische context aangeleerd, om vervolgens in een schematisch blok te worden "gedecontextualiseerd". Dit laatste met het oog op de te bereiken algemene(re) wendbaarheid.

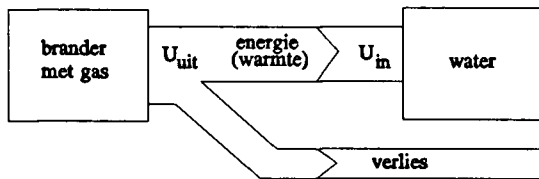
Van der Valk (1992) heeft een uitgebreid onderzoek gedaan naar het functioneren van energie-onderwijs in een thema/blok curriculum. Laten we daarom daar enkele uitkomsten nader van bekijken. Nu is, zoals bekend, het fysische energiebegrip bepaald niet het eenvoudigste. Feynman spreekt van een mathematisch principe volgens welk er in de natuur een getal is dat, bij alle processen die plaats vinden, niet van grootte verandert. Het wordt als toestandsgrrootheid toegekend aan systemen. Aan dit energiebegrip zijn vier aspecten te onderscheiden, te weten: behoud, degradatie, omzetting en transport. Deze aspecten geven een fundamentele dualiteit van het energiebegrip weer: behoud én verandering, zijn én worden. In een wereld van veranderingen (omzettingen, transport) neemt de bruikbaarheid af, maar blijft de hoeveelheid constant. Kortom, eerste én tweede hoofdwet, zoals ook de WEN wil.

In de leefwereld wordt het "energiebegrip" heel anders opgevat. In processen waarin mensen en dieren een rol spelen lijkt het een "eigenschap" daarvan. In technische processen is het vooral "iets wat apparaten nodig hebben om te kunnen werken". Daarnaast zijn er "natuurlijke" processen, zoals vallen of afkoelen, die gewoon gebeuren zonder dat ze iets met energie te maken hebben. In deze leefwereldideeën over energie is (nog) geen plaats voor behoud, noch voor omzetting of degradatie, de kenmerkende eigenschap van "energie" is dat het verbruikt wordt.

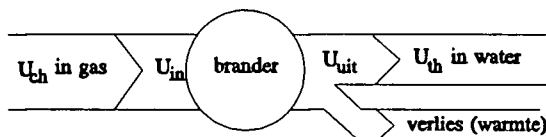
In het thema "Energievoorziening" heeft Van der Valk nu geprobeerd energie-onderwijs te maken dat zowel omgevings- als toepassingsgericht is. Het gaat erom de energievoorziening van ons land als contextgebied te gebruiken voor de te leren vakinhouden. Daartoe focusteert hij sterk op technische situaties, waarin hij leerlingen een energiebegrip wil laten ontwikkelen als "een behouden bruikbaar iets, dat stroomt (transport), in soorten ontstaat en verdwijnt (omzetten) en kan worden opgeslagen". De achtergrond hiervan is dat dit energiebegrip voldoende zou zijn voor de beschrijving van de gekozen praktijkcontexten, terwijl het daarnaast nog een zekere voorstelbaarheid heeft, waarmee het een brug zou kunnen slaan tussen het

leefwereld en "het" abstracte fysische begrip. Dit laatste wordt in het aansluitende blok "Arbeid en Energie" nagestreefd.

Uit zijn onderzoek blijkt dat het gebruiken van realistische situaties als aanleercontexten toch zo zijn eigen problemen met zich meebrengt. Het volgende voorbeeld demonstreert dit ten aanzien van de WEN-term: "apparaten als energie-omzetters". Van der Valk behandelt o.a. de situatie waarin water verwarmd wordt op een campingbrander, waarbij leerlingen het rendement moeten uitrekenen. Dit blijkt nogal wat onverwachte problemen op te leveren. Analyse van lesprotocollen leidt tot de volgende verklaring daarvan. Veel leerlingen blijken het bedoelde onderwijsbeeld (zie fig. 1) heel anders op te vatten. Het verbruiks-idee blijft daarbij overeind. "Energie" wordt geleverd door een bron en verbruikt bij het verwarmen. Verlies is datgene wat niet op de bedoelde plek terecht komt. Het "rendement" is in de ogen van leerlingen dan ook U_{in}/U_{uit} in plaats van het omgekeerde.



a. de leerlingen: energie gaat van het gas naar het water



b. het onderwijs: de brander zet chemische energie van het gas om in thermische energie van het water

Als het gaat om de beweging van auto's blijken leerlingen de term kinetische energie vooral te interpreteren als de "energie" die nodig is om in beweging te blijven en daarvoor dus verbruikt wordt. Evenzo is zwaarte-energie de "energie" die nodig is om water omhoog te brengen en warmte de energie die nodig is om iets te verwarmen. Steeds gaat het dus om een interpretatie dat "energie verbruikt wordt voor de taak", waarbij soms nog extra verlies optreedt doordat er iets naast gaat, of nodig is om weerstand te overwinnen, etc. We zien hier in feite dezelfde causale Gestalt aan het werk als eerder beschreven bij mechanica. Bijvoorbeeld, de motor van de auto (agens) moet "energie" (het instrument) leveren aan de auto (het object) om in beweging te komen en te blijven (weerstand overwinnen). Na ruim veertig lessen over energie, half thema - half blok, blijkt ruim 50% van de leerlingen in taaksituaties nog steeds een verbruiks-idee, dan wel een verbruiks- en verliesidee, te gebruiken.

We kunnen nu natuurlijk de eerder getrokken conclusie t.a.v. de invloed van "primitieve intuïties" herhalen. De beschreven voorbeelden laten immers opnieuw zien hoe leerlingen zich in "begripsforcerend" onderwijs, "reddend" met allerlei "alternatieve betekenisgevingen". Ik wil nu echter de aandacht richten op de rol van contexten. In het door Van der Valk bestudeerde onderwijs worden begrippen steeds aangeleerd en toegepast in reële praktijk-situaties. Dit heeft uiteraard de door de WEN onderschreven bedoeling dat het geleerde voortdurend geplaatst wordt in de realiteit. Maar er blijken ook twee nadelen. In de eerste plaats is het zo dat deze praktijkcontexten voor leerlingen helemaal niet noodzakelijk vragen om een beschrijving in fysische termen. Integendeel, zij hebben in de meeste gevallen een volstrekt adequate beschrijving in termen van een, eventueel aangevuld, common sense "energie"-begrip beschikbaar. Het tweede nadeel is dat praktijksituaties onvermijdelijk vanuit fysisch standpunt conceptueel complex zijn. Dat betekent dat in de behandeling, door lesmateriaalontwikkelaar en leraar, bij voorbaat een sterk vereenvoudigende fysische bril is en wordt opgezet. Het waarom en hoe daarvan blijft voor leerlingen impliciet. Het gevaar is daardoor groot dat ondanks een voortdurende bedoelde koppeling aan praktijksituaties, het voor leerlingen blijft gaan om "praktijkvreemd" leren van natuurkunde.

In veel regulier onderwijs wordt, zoals bekend, juist het andere uiterste gedaan. Dan worden begrippen aangeleerd in sterk geïdealiseerde situaties (door Van Genderen schoolcontexten genoemd) en nauwelijks toegepast in de realiteit. De transfer naar de praktijk vindt echter ook dan niet (vanzelf) plaats.

In beide gevallen schiet de begripsvorming en de begrip-wendbaarheid tekort. Het lijkt me daarom uiterst belangrijk dat praktijkcontexten en geïdealiseerde contexten in relatie tot en in functie van elkaar worden gekozen en ontwikkeld. Daarbij dient het proces van idealiseren en modelleren van praktijkcontexten tot schoolcontexten expliciet te worden gemaakt. Evenals het omgekeerde proces van proceduraliseren en toepassen van in deze schoolcontexten gevormde begrippen in de complexe praktijk. Ook hiernaar moet nog veel onderzoek gedaan worden. Een en ander staat of valt met de vraag in hoeverre we er in slagen aan praktijkcontexten voor leerlingen zinvolle vragen te verbinden, die voor hun beantwoording ook werkelijk vragen om een fysische beschrijving. Zolang het blijft gaan om de vragen van de leraar, mogen we van contextrijk onderwijs niet echt veel meer verwachten dan van contextarm.

Concluderend wil ik stellen dat de weg naar omgevings- en toepassingsgerichte natuurkunde, zoals genoemd door de WEN, een goede is vanwege de noodzaak van door leerlingen te ervaren herkenbaarheid, maar vanuit het standpunt van functionele en inzichtelijke begripsvorming nog lang niet voldoende is verkend.

5. WEN: naar moderne natuurkunde (o.a. Quarks)

Tenslotte aandacht voor een derde vernieuwing van de WEN, de inhoudelijke "updating". Daarvoor richt ik me op een derde inhoudelijke kern van het bovenbouw natuurkunde-onderwijs, nl. structuur der materie. Daarin is door de WEN een belangrijke uitbreiding t.a.v. theoretische modelvorming aangebracht in de vorm van quarks en wisselwerkingsdeeltjes. Een uitbreiding overigens waarvan de noodzaak nogal ter discussie lijkt te staan. Een reden te meer om te zien wat in dit verband precies haalbaar is.

Laten we echter eerst eens naar de beginsituatie kijken, met welk materiemodel leerlingen de bovenbouw binnenkomen. En hoe zich dit vervolgens ontwikkelt.

Vollebregt (1991) heeft eind-derde klas leerlingen een gesloten vragenlijst voorgelegd m.b.t. hun kennis, op het niveau van reproductie (zie WEN), van het standaard onderbouw deeltjesmodel. Daarnaast is in een open vraag en in interviews nagegaan in hoeverre zij dat deeltjesmodel ook op productieniveau kunnen gebruiken, bijvoorbeeld ter verklaring van het oplossen van een kleurstofkorrel in water. Zij komt tot de conclusie dat vwo-leerlingen wel behoorlijk tot goed in staat zijn om dit model op reproductieniveau te hanteren, maar dat het modellen denken op productieniveau veel te wensen overlaat.

Zodra leerlingen zelf moeten redeneren in termen van deeltjes, blijken zij veelvuldig gebruik te maken van "naïef realistische" interpretaties. Oppervlakkig gezien lijkt het alsof zij voortdurend macroscopische eigenschappen vertalen naar het niveau van individuele deeltjes (een warm atoom, in een vaste stof staan de deeltjes stil, warme atomen zetten uit, etc). Dit is overigens consistent begrijpelijk als we uitgaan van de primitieve ervaringsnotie dat materie continu is en voorkomt in de vorm van hoofdzakelijk statische objecten. Van daaruit leidt het "verdelingsprincipe" vanzelf tot naïef realisme. Het hoofdprobleem voor deze leerlingen is dat zij het model nog opvatten als een feitelijke vergrote weergave van de werkelijkheid. De stap naar het denken in termen van een model als gedachtenconstructie, is dan nog niet gemaakt.

Natuurlijk verandert dit tijdens het onderwijs in de bovenbouw, maar de beschreven interpretatie blijft toch steeds een rol spelen. Zo zien we bijvoorbeeld in het onderzoek van Van der Valk (eind 4, begin 5 VWO) leerlingen het volgende zeggen.

- * "Bij het smelten van vaste stoffen komt energie vrij, er moet een rooster gebroken worden en dat levert energie".
- * "Als er energie wordt toegevoerd stijgt de temperatuur, dan gaan de molecuultjes harder bewegen en daardoor zal er meer warmte komen".
- * "Temperatuur stijgt door wrijving van moleculen tegen elkaar".

We zien hier naïef realistisch denken vermengt met "verwarring" t.a.v. oorzaak-gevolg, energie/warmte, etc.

Ook bij het atoomfysica onderwijs in 6VWO komen we problematische interpretaties tegen. Schooten (1991) heeft na het onderwijs over het Bohrmodel een aantal leerlingen (in de maand december van het eindexamenjaar) geïnterviewd o.a. aan de hand van het in de les besproken gasontladingsbuisje. Het volgende geeft een fragment (i = interviewer; J,O en B zijn leerlingen).

i: wat zijn dit nou voor botsingen tussen die electronen en die gasatomen?

B: elastisch, denk ik

i: waarom elastisch ?

B: ze blijven er niet tegen aanzitten. Als het inelastisch was, zouden ze er tegen aan blijven

O: ze krijgen beide een even grote snelheid.

.....

B: het verschil tussen elastische botsing en inelastisch ligt niet in de energie, volgens mij, maar gewoon doordat ze na de botsing weer terugveren.

.....

J: nou, bij elastische botsing is er dus helemaal geen vervorming van het molecuul of van het deeltje of wat dan ook, bij inelastisch wel.

Dit is een interessant protocol. We zien hier dat leerlingen naïef realistisch redeneren, niet vanwege leefwereldideeën maar met behulp van eerder geleerde macroscopische natuurkunde. Het lijkt erop dat de ervaring van de luchtkussenbaan, o.i.d., rechtstreeks vertaald wordt naar atomaire niveau. Deze leerlingen hebben dus ook geen idee van het onderscheid tussen contactbotsingen en verstrooiing-op-afstand (zie verder). Zij houden zich vast aan een concrete voorstelbare gang van zaken. Met het abstracte denkmodel van Bohr, gecombineerd met een dualistisch electron, kunnen ze dan ook niet goed uit de voeten.

O: dat van Bohr, dat het in eh...golfbewegingen omheen cirkelt. Dat kan ik me niet voorstellen. Ik kan me nog wel voorstellen dat het er omheen draait, maar dan nog een keer in golfbewegingen dat wordt even eh.....

i: en jij B ?

B: dat is moeilijk ja. Dus, dan is het een golf, maar wat is dan een golf? Ik bedoel, je weet niet, daar kan je inderdaad niets bij voorstellen.

Een dualistisch electron is natuurlijk ook niet meer voorstelbaar en alleen maar hanteerbaar als denkmodel, maar die stap hebben deze leerlingen nog niet gemaakt. Een en ander wordt nog gecompliceerder voor diegenen die ook nog scheikunde in hun pakket hebben.

G: electronen waren dus wolken, wat ik daar nou precies bij moet voorstellen dat weet ik niet, maar bij natuurkunde gaan ze er bijna altijd van uit dat een electron een deeltje is.

S: of een golf ja, maar niet een wolk van iets

K: daar hoor je weer niks van en dan heb je alle drie,

dan kan je dus een electron, kan je dus als drie dingen voorstellen, een bolletje, een golf en een wolk.

J: beetje verwarrend, hè..

Geen wonder dat leerlingen dan zeggen: "Het is maar een model". Dit geeft dan echter, mijns inziens, niet zozeer de verwoording van een diep inzicht in de aard van een model weer, maar veeleer een noodgreep om je aan vast te houden. Het lijkt de verwoording van een gevoel van onmacht, het hoeft kennelijk allemaal niet te kloppen of begrijpelijk te zijn.

Ten aanzien van het Bohr-model komt het er op neer dat dit nog wel "functioneert" als voorstelbaar klassiek model, d.w.z. electronen die als kleine knikkertjes in cirkels om een grote knikker draaien. Het blijkt echter nauwelijks op productief niveau toepasbaar. Het dualiteitsbegrip wordt regelmatig geïnterpreteerd alsof het deeltje nu eens een golf is en dan weer transformeert tot een deeltje. In de redeneringen over banen en energieën blijkt regelmatig duidelijke verwarring over begrippen als kracht, energie en potentiaal. Deze verwarring is veelal direct terug te voeren op de eerder beschreven problemen. Het belangrijkste symptoom is misschien nog wel dat leerlingen geen enkele verbazing tonen bij vragen over kwantisering, stabiliteit en identiteit van atomen. Dat betekent dat er geen inzicht is ten aanzien van het waarom van het model, en de fysische problemen waar het wel of geen oplossing voor kon bieden.

Het aansluitende kernfysica onderwijs versterkt dit klassieke beeld. Daarin kan immers volstaan worden met het idee dat de grootste knikker van het atoom, de kern, zelf weer is opgebouwd uit kleinere knikkertjes, de protonen en neutronen. Eijkelhof (1990) heeft laten zien dat het plaatsen van kernfysica in de context van (risico's van) ioniserende straling in dit opzicht niet noodzakelijkerwijs een verbetering inhoudt. Integendeel, de met deze context samenhangende begrippen uit de stralingsfysica, nu onderdeel van het WEN-programma, blijken hun eigen behandelingsproblemen op te roepen. Overigens is ten aanzien hiervan in voortgezet onderzoek, in het kader van het Project Bovenbouw Natuurkunde (PBN), goede voortgang geboekt. Dat geeft tevens aan dat niet alle begripsproblemen dezelfde achtergrond en zwaarte hebben.

Bormans (1991) heeft onderzoek gedaan naar klasse-ervaringen met het thema "Speurtocht". Een PBN-thema dat gemaakt is als voorbeeldmateriaal voor het introduceren van elementaire deeltjes in het VWO. Volgens de docenten is dit thema goed bruikbaar, maar als we preciezer kijken rijzen toch veel vragen.

In feite worden in het thema quarks alleen maar beschreven als nog kleinere knikkertjes dan protonen en neutronen. Leerlingen accepteren dit beeld gemakkelijk, alhoewel zij de zin er niet van in (kunnen) zien. De niet klassieke aspecten brengen echter veel problemen met zich mee. Bijvoorbeeld ten aanzien van de creatie van deeltjes:

"Eerst heb je niks en dan wordt het opeens massa. Die massa die moet toch ergens vandaan komen, eh...uit energie, maar hoe dat kan, dat massa uit energie vandaan komt?"

Een van de problemen hierin is het niet onderscheiden van de begrippen materie en massa (traagheid) als eigenschap van materie. Ditzelfde doet zich voor als het gaat om relativistische massatoename.

ja: ik snap niet dat ook de massa toeneemt

ma: nee, dat snap ik ook niet hoe dat kan

ma: kan toch niet

jo: als je sneller gaat?

Leerlingen zien massatoename als toename van hoeveelheid materie, en vragen zich dan ook verwonderd af waarom de versnellerbuis niet verstopt raakt. De functie van zo'n versneller levert trouwens een probleem op zich:

ll: die versnellers, is dat alleen maar voor onderzoek?

L: ja

ll: ik snap niet wat ze daar nou onderzoeken

.....

L: geeft uitleg over deeltjes en over de kosten

.....

ll: als je deeltjes versnelt ontstaat er toch energie?

L: eh, ja die deeltjes krijgen energie dat klopt

ll: maar die energie kun je niet gebruiken dus?

Deze leerlingen proberen hier of het nut van versnellers wellicht in de energieproductie zou kunnen zitten, ze komen er niet echt uit. Op zich trouwens een opmerkelijke discussie na zo'n tien lessen over elementaire deeltjes. Het feit dat ze ook spreken over ontstaan van energie raakt een ander kernpunt, nl. dat leerlingen niet goed in staat zijn om de botsingsprocessen te benaderen vanuit een beschrijving in termen van behoudswetten. Het blijkt dan opnieuw dat het hele idee dat je m.b.v. zulke wetten uit meetbare grootheden informatie over onzichtbare verstrooiingsprocessen kunt deduceren niet echt overkomt. De beschrijving van de vele nieuwe deeltjes brengt leerlingen in onzekerheid t.a.v. de bouw der materie. Wat eerst zo simpel leek, blijkt verwarrend complex. Het gevoel van zekerheid komt echter weer terug als in het "quarkspel" blijkt dat er toch maar weer drie bouwstenen overblijven, nl. de quarks. Alle deeltjes ontstaan uit herschikking van drie elementaire deeltjes. Dit geeft een soort voorstelbaar mechanisme weer dat houvast biedt. Als dan echter blijkt dat ook die quarks zelf weer kunnen veranderen is dit mechanisme weer ondergraven. Maar inmiddels zijn zij in staat daar een oplossing voor te vinden.

"nou je had, daar heb je een u en en anti-u en dat wordt een s en een anti-s, die heb je dan, maar ja, wat gebeurt daar nou mee? Zal wel weer uit nog kleinere deeltjes zijn opgebouwd"

Het idee van wisselwerkingsdeeltjes en processen, beschreven d.m.v. Feynmandiagrammen is echter een brug te ver. Om bij de behandeling hiervan in niet in al te duidelijke inconsistenties te vervallen is het nodig om aandacht te besteden aan de onzekerheidsrelaties en virtuele deeltjes. Dit is echter zeker niet meer te vangen binnen het klassieke knikkertjespatroon. De Feynmandiagrammen worden bijvoorbeeld letterlijk geïnterpreteerd als tekening van de situatie.

"Kun je die wisselwerkingsdeeltjes dan tegenhouden als je er iets tussen zet?"

Desalniettemin vonden veel leerlingen het "best wel" een interessant thema.

6. Conclusies

Waar toe leidt dit alles? In de eerste plaats hoop ik te hebben duidelijk gemaakt dat wanneer je bij veel leerlingen enigszins onder de oppervlakte kijkt, er veel blijkt te haperen aan het kwalitatieve inzicht. Maar eigenlijk wist u dat natuurlijk al (?). Belangrijker lijkt dat er zekere patronen in de beschreven begripsproblemen zijn te ontdekken. Het gaat niet om een lijst al aanwezige "misconcepties", waaruit we even de belangrijkste moeten kiezen om de zaak recht te zetten. Daaronder liggen een beperkt aantal kernen die verder opgespoord en geanalyseerd moeten worden, zoals bijvoorbeeld: de invloed van common sense noties; het vasthouden aan concrete meer of minder verfeitelijkte voorstellingen in plaats van het kunnen redeneren in termen van een abstract denkmodel; het onvermogen om de overgang naar niet-klassieke ideeën te maken. We zien ook hoe inzichtsproblemen die in de vierde klas (of al in de onderbouw) ontstaan, blijven terugkomen en doorwerken in de hogere klassen.

Maar door het zo te stellen, zouden we de oorzaak van de problemen, zoals al gezegd, volkomen ten onrechte bij de leerlingen leggen. Er is geen alternatief dan die bij ons zelf te zoeken, bij het onderwijs dat we geven en het systeem waar het deel van uitmaakt. In mijn verhaal heb ik de relatie tussen het leren van leerlingen en het onderwijs onderbelicht gelaten. Als we echter van het inzicht uitgaan dat leren plaatsvindt door het op grond van aanwezige voorkennis actief *construeren* van betekenissen, in plaats van door passieve overdracht, dan zullen we daar in het onderwijs ook, letterlijk en figuurlijk, ruimte voor moeten geven. Als we dat niet doen, dan kan het niet anders of we komen onvermijdelijk de soort problemen tegen die ik heb beschreven. Maar dan moeten we ook niet langer klagen over niet gemotiveerde leerlingen en gebrek aan efficiëntie van het onderwijs. De bron van de beschreven problemen ligt uiteindelijk in het feit dat het onderwijsprogramma en de gebruikte didactiek leerlingen geen andere mogelijkheid laat dan zich staande houden met half (on)begrepen ideeën en zich vast te klampen aan formules. De omvang en diepgang van het programma, door de WEN eerder toegenomen dan verminderd, laat leraren vooralsnog geen andere keus dan het leer- en

onderwijsproces voor de meeste leerlingen voortdurend te forceren. Probleemoplossingsvaardigheden kunnen daar niet veel aan veranderen. Ook de WEN-veranderingen, of het nu om contexten gaat of om biofysica en fysische informatica, zullen dit beeld niet verbeteren.

We zullen dan ook moeten blijven zoeken naar een betere didactiek, resulterend uit inzicht in het feitelijke leer- en onderwijsproces. Nieuwe didactische wegen zullen moeten worden gevonden en uitgetest. Dat vraagt dat ook het programma steeds opnieuw zal moeten worden bekeken. Maar er is meer, namelijk de vraag hoe tegelijkertijd de steeds groeiende afstand tussen de stand van het fysische inzicht en wat daarvan op school behandeld wordt, kan worden verkleind? Is het daarvoor niet nodig op een andere manier naar het vak (onderwijs) te gaan kijken? Kan het programma niet tegelijkertijd aan omvang verminderen en aan conceptuele diepgang winnen?

Dit vraagt onderzoek en experimenteer ruimte en een instantie die zich daar druk over maakt (een nieuwe CM-LN?). In dit verband wil ik afsluiten met nog een WEN-verandering te noemen, die eigenlijk tot nu toe onopgemerkt is gebleven, nl. de afschaffing van de keuzegroepen. Daardoor zijn niet alleen een aantal interessante inhoudelijke onderwerpen weer uit het gezichtsveld verdwenen, belangrijker is dat daarmee ook een relatief gemakkelijke mogelijkheid tot het uitvoeren van didactische experimenten in de bovenbouw is doorgestreept.

Afsluitend kom ik de tot de volgende stellingen: ²⁾

1: Gegeven dat:

- * alle onderwijskundig onderzoek (Creemers, 1991) uitwijst dat de belangrijkste variabele voor effectieve instructie de "time on task" is, en;
- * natuurkunde-didactisch onderzoek uitwijst dat het inzicht onvoldoende ontwikkeld wordt,

en aangezien:

- * de WEN geen keuze heeft kunnen maken uit diverse vernieuwingen, waardoor programma overladenheid het gevolg is, en
- * probleemoplossingsvaardigheden resulteren uit inzichtelijk handelen en niet andersom, zoals "de aansluiters" in vervolgonderwijs en beleid lijken te menen,

ben ik van mening dat:

- * profilering alleen kan slagen als deze uitgaat van een *verdeling* van de WEN leerstof over profielen, waardoor de "time on task" per onderwerp vergroot kan worden en het inzicht kan toenemen, zodat toegekomen kan worden aan probleemoplossingsvaardigheden en de aansluitingsproblematiek vermindert.

2: Dan zou profilering een goede zaak zijn.

²⁾ Deze stellingen komen ruwweg overeen met wat ik in de afsluitende forumdiscussie had willen inbrengen.

Literatuur

Er is veel literatuur die geïnteresseerden meer informatie kan bieden. (zie bijvoorbeeld het Tijdschrift voor Didactiek der β -Wetenschappen). De volgende bronnen zijn in het verhaal expliciet genoemd.

- Andersson, B. (1986). The experiential gestalt of causation: a common core to pupils' preconceptions in science. *Eur.J.Sci.Educ.*, 8, 155-171.
- Bormans, H.F.H. (1991). *Een onderzoek naar de haalbaarheid van het thema "Speurtocht"*. Utrecht: Vakgroep Natuurkunde-Didactiek, RUU.
- Creemans, B.P.M. (1991). *Effectieve Instructie, een empirische bijdrage aan de verbetering van het onderwijs in de klas*. Den Haag: SVO.
- Eijkelfhof, H.M.C. (1990). *Radiation and Risk in Physics Education*. Utrecht: CD- β Press.
- Genderen, D.van (1989). *Mechanica onderwijs in beweging*. Utrecht: W.C.C.
- O&W (1991). *"Profielnota"*, SDU.
- Schooten, G. (1991). *Onderwijsproblemen t.a.v. het atoommodel van Bohr*, afstudeerverslag, Utrecht: Vakgroep natuurkunde-didactiek, RUU.
- Valk, A.E.van der (1992). *Ontwikkeling in Energie Onderwijs*. Utrecht: CD- β Press.
- Vollebregt, M.J. (1991). *Wat begrijpen leerlingen van de "bouw der materie"*, afstudeerverslag. Utrecht: Vakgroep Natuurkunde-Didactiek RUU/Delft: T.U.
- W.E.N.- rapport, (1988).

15 jaar ervaring met open onderzoek natuurkunde

F. Budding



Ik wil graag eerst schetsen door welk een toeval ik al in 1976/1977 tot het doen van open onderzoek gekomen ben. Natuurlijk ook door een zekere onvrede met het klassieke practicum, waarbij iedere leerling dezelfde proef doet. Practicum met duurdere apparaten zoals toongenerator, dubbelstraalsoscilloscoop, stroboscoop etc. is dan onmogelijk, omdat die apparaten niet in voldoende aantallen aanwezig zijn.

(Vermeld moet even worden dat ik docent ben aan een Rijksschool, waar dus geen wezenlijke andere fondsen beschikbaar zijn dan de rijks gelden zoals iedere school die krijgt.) Onze gymnastiekzaal werd net afgekeurd en dat betekende dat de kleedhokjes leeg kwamen. De rector stond ons toe van deze hokjes gebruik te maken, hetgeen voor ons ideaal was gezien de ligging in de nabijheid van zowel kabinet als het vaklokaal natuurkunde.

Begonnen met een 5 Vwo klas. Het liep fantastisch. Leerlingen vonden het enorm leuk met onze demonstratiespullen te mogen werken. Omdat het goed bleef lopen, kregen we van Rijksgebouwendienst gedaan dat de hokjes echt voor ons geschikt werden gemaakt. Dit verbeteren kon namelijk meegenomen worden met het ombouwen van de gymzaal tot kantine en het omvormen van de toestelberging tot keuken. Zo kregen we de beschikking over verduistering en beveiligingsschakelaars. De definitieve bestemming tot experimenteerruimte (legalisering van wat al gewoonte geworden was) werd een feit. Vanaf het eerste begin hebben we gewerkt met de opbouw: werkplan, uitvoering, verslaggeving. Dit laatste deden we vanaf de eerste keer al mondeling voor de rest van de klas, zodat iedere leerling kennis kon nemen van de proeven die door zijn medeleerlingen uitgevoerd waren. Ik spreek heel bewust van "we", omdat de medewerking en inzet van de TOA van wezenlijk belang is. Ik kom hier later op terug.

Opzet

Ieder koppel (meestal 2 leerlingen) kiest een onderwerp. Meestal hebben ze over dat onderwerp al iets gehad en fungeert het als een soort herhalingsstof. Kunnen ze niet tot

een keuze komen, dan heb ik een lijst van de experimenten die vorige jaren uitgevoerd zijn. Maar vaak geef ik die lijst niet. In examenklassen vormen we vaak koppels door loting, om gedonder achteraf over onvoldoendes die men elkaar wil verwijten te voorkomen.

Ik praat met de leerlingen over de opdracht, laat hen eerst met ideeën komen, stel ze soms bij, geef meerdere mogelijkheden, stuur de preciezere onderwerpskeuze bij om tot een gewenste moeilijkheidsgraad te komen. Ik ben hier dus heel duidelijk begeleider en niet beoordelaar! Als leerlingen en ik het eens zijn over het onderwerp, maak ik een lijst voor de leerlingen (komt op het prikbord in de klas, zodat ook de leerlingen van een parallelgroep de gekozen onderwerpen kunnen zien) en voor de TOA. Door met de leerlingen over de nadere invulling van het onderwerp te praten, bouw ik heel geruisloos goedkeuring voor een bepaald onderwerp in. Ik wil mij namelijk het recht voorbehouden een bepaald onderwerp te weigeren. Bijvoorbeeld omdat het te gevaarlijk is, of te duur, of stomweg omdat hetzelfde vorig jaar al is uitgevoerd en ik gekloon wil voorkomen. Als dat geregeld is (en dat kost je voor een hele klas toch zeker 1 à 2 weken, je moet dit niet overhaasten en het kost de leerlingen tijd iets aardigs te bedenken), spreken we data voor de mondelinge verslaggeving af met de leerlingen. Vandaaruit moeten leerlingen terugrekenen op basis van het volgende schema:

- werkplan maken kost ongeveer 1 week
- werkplan inleveren bij docent of TOA
- werkplan bespreken met TOA (soms met docent)
- na goedkeuring, spullen bij elkaar zoeken en installeren op de voor hen bestemde werkplek
- 1 week de tijd om het experiment uit te voeren
- 1 week de tijd om waarnemingen te verwerken en om sheets te maken
- bespreking voor de klas.

Het gehele proces tussen maken van werkplan en het bespreken van het experiment beslaat een tijdspanne van minstens 2,5 week.

Ik kan op mijn school 4 koppels tegelijk in onze hokjes

kwijt, daarbij natuurlijk minstens 2 koppels in lokalen en uiteraard voor zover noodzakelijk in de gangen en buiten. Maar we hebben aanbod uit klas 5H, 5V, 6V en aan het eind van het cursusjaar als de examenklassen weg zijn ook uit 4V en 4H! Globaal kan er 1 koppel tegelijk uit 1 groep aan de slag zijn. De leerlingen moeten de experimenten uitvoeren in hun eigen vrije tijd (waaronder tussenuren en middagpauzes). Tegenover deze tijdsinvestering staat dat ze voor de uren dat medeklasgenoten een proefbespreking moeten doen, minder of geen huiswerk hebben. Over de totale tijdsinvestering ontvangen we geen klachten van leerlingen of ouders.

Wijze van presenteren

Leerlingen krijgen sheets en pennen mee om datgene op sheet te zetten voor hun proefbespreking *wat ze anders op het bord gezet zouden hebben*.

Ik wil beslist niet dat ze hele verhalen opschrijven. Wel schema's, tekeningen, grafieken. Hoe de koppelgenoten hun aandeel willen verdelen, vind ik onbelangrijk, mits ze beiden meedoen.

Interrumperen tijdens een proefbespreking door de toehoorders (leerlingen, docent en TOA) mag alleen als het verhaal absoluut niet begrepen wordt. Niet gestoord mag worden voor nadere details!

Als het koppel de ervaringen van de proef verteld heeft, en liefst ook getoond aan de hand van de werkelijke opstelling, mogen vragen gesteld worden die meteen beantwoord moeten worden. Soms ontstaan enorme discussies! Een bijkomend voordeel voor de docent is dat hij niet zo bang hoeft te zijn voor klonen (want het koppel moet het verhaal zelf vertellen en eventueel verdedigen), geen verslag hoeft door te lezen (hetgeen veel tijd kost) en te bespreken. Bovendien kun je door extra vragen te stellen testen of de leerlingen bepaalde zaken begrepen hebben. Deze navraagmogelijkheid gaat bij een ingeleverd verslag moeizamer. Voor de leerling biedt deze vorm van presentatie ook voordelen: kost minder tijd dan verslag schrijven, verbetert zijn vaardigheden voor spreekbeurten op natuurlijke wijze. Bovendien komt iedere leerling op deze manier in contact met alle proeven die door de klas zijn uitgevoerd en die vaak herhalingsstof vormen. Bovendien kan het koppel bij zijn uitleg hulpmiddelen (bv. de echte proefopstelling) gebruiken. Het cijfer wordt later door docent en TOA gezamenlijk vastgesteld en de leerlingen mondeling meegedeeld en indien nodig toegelicht.

Problemen

Velen onder u zullen zeggen: leuk maar..... Ik zal proberen die "maar'en" van tafel te krijgen, weer uitgaande van de situatie op mijn school en hoe ik die problemen heb proberen op te lossen.

Probleem 1: ruimtegebrek

Uit mijn historisch overzichtje hebt u kunnen zien hoe ik de problemen opgelost heb. Maar ik besef dat ik geluk gehad heb. Als u slechts recht hebt op 1 vaklokaal en het daarbij horende kabinet, bent u het slechtst af. Bij een tweede

lokaal natuurkunde (theorievaklokaal) hoort een berging van 12 vierkante meter. Met wat passen en meten kunt u de inventaris gedeeltelijk in het kabinet kwijt (de hoogte in dus) en kunt u deze berging gebruiken als experimenteer-ruimte. Hoewel niet ideaal, misschien heeft u nog een zolder of kelder. Probeer wel zo dicht mogelijk bij het kabinet te komen. Natuurlijk kan het in de gangen ook, echter loopt u de kans op overlast voor de klassen die les hebben. Ook het opbergen zal problematischer zijn. Er zijn echter wel mogelijkheden. Bijvoorbeeld door werkkasten in de gang te gebruiken of bepaalde lokalen vrij te roosteren.

Probleem 2: geld

Ik kan op mijn (Rijks)-school niet over andere gelden beschikken dan de rijksmiddelen. Ik kan niet bij een bestuur aankloppen (Zeer grote uitzonderingen daargelaten). Dus moesten we een andere vorm van sponsoring bedenken. In alle klassen vroegen wij al een geringe ouderbijdrage voor zaken die verbruikt werden. Deze bedragen hebben we opgetrokken tot de volgende bedragen per jaar (ter vergelijking ook de andere klassen waar geen open onderzoek uitgevoerd wordt): klas 2 en 3 f 3.-; klas 4M f 2,50;

klas 4V en 4H f 5,-; klas 5V f 10,-; klas 5H en 6V f 15,-. Hieruit moet al het aan te schaffen materiaal betaald worden, en alle reparaties die niet kunnen wachten.

Een paar jaar geleden was één van onze scopen kapot, schade f 600,-. Zoiets kan gebeuren. Totaal komen we zo uit, waarbij ik meteen moet opmerken dat we niet krenterig hoeven doen uit financiële overwegingen. Zo werd vorig jaar een complete windmolen gebouwd, alleen de lagering kostte al f 100,-.

Probleem 3: medewerking derden

Ik bedoel hier niet directe hulp bij de uitvoering, maar de technische ondersteuning in de vorm van het uitlenen van spullen en het verschaffen - op aanvraag - van documentatie.

Praktisch gezien: de fietsmaker verkoopt fietspompen met een manometer. Maar hij wil best een exemplaar aan de school lenen zodat leerlingen de wet van Boyle kunnen uittesten met fietsbanden. Het ziekenhuis heeft vloeibare stikstof. De politie wil soms wel hun rollenbank uitlenen of beschikbaar stellen op het politiebureau. Garagebedrijven (ook de kinderen van garagehouders gaan naar school!) willen best wat oliesoorten geven, het contact met "hun" olieleverancier (soms een "koninklijke") verloopt dan ook heel gemakkelijk. Maar ook bedrijven als KNMI, Fokker, de lokale gasfabriek en niet te vergeten de plaatselijke industrie zijn best bereid hun produkt of know-how ter beschikking te stellen. Bij te verwachten moeilijkheden kunt u het beste zelf eerst even contact opnemen. Andere truc: laat meisjes contact opnemen, bedrijven wijzen hun verzoeken minder gemakkelijk af!

Probleem 4: er gaan spullen kapot

Als leerlingen met uw dure spullen gaan werken, loopt u een verhoogd risico dat er zaken kapot gaan. Instructie vooraf helpt natuurlijk. Ook het aanreiken van de handleiding (veelal in het Engels) voorkomt fouten die tot schade leiden. Natuurlijk hangt een en ander ook af van de

mate waarin u uw leerlingen getraind heeft met deze apparatuur. Mijn probleem is niet zozeer dat dit geld kost, maar dat ik plotseling zonder een goed functionerend apparaat kom te zitten. Hoe ik dat goed moet oplossen, zonder dat ons dat enorm veel tijd kost, weet ik niet. Op het ogenblik geven wij bij dit soort apparaten altijd instructie vooraf. Verder noemen wij altijd de prijzen van de apparaten waarmee leerlingen werken. Misschien wel hierdoor sneuvelt er eigenlijk erg weinig.

Probleem 5: groepsgrootte

Ik heb al eerder gezegd dat ik met mijn leerlingen aan open onderzoek kon beginnen dankzij het feit dat de groepsgrootte op mijn school niet al te groot is. Net zoals traditioneel practicum wordt ook open onderzoek moeilijker uit te voeren als er meer leerlingen in een groep/klas zitten. Maar op zichzelf blijft open onderzoek natuurlijk mogelijk bij grote groepen. Alleen kunnen leerlingen dan per cursusjaar slechts 1 proef uitvoeren in plaats van 2. Of je zou moeten kiezen voor koppels van 3 leerlingen en misschien als consequentie die experimenten moeten toestaan/uitzoeken die 6 handen nodig hebben. Op zich biedt open onderzoek de mogelijkheid om veiliger te werken dan bij klassikaal practicum en dat is in verband met de invoering van de ARBO voor het onderwijs op 1 november j.l. een pluspunt.

Probleem 6: tijd voor TOA/tijd voor leerling/tijd voor docent/tijd aan lesuren in ons overvolle eindexamenprogramma

Ik denk dat we als vrij vaststaand kunnen aannemen dat iedere collega natuurkunde zowel voor havo- als voor vwo-klassen zich behoorlijk zorgen maakt over de omvang van de examenstof. Waar haal je de tijd vandaan om met leerlingen aan de onderzoeksopdracht te werken?

Nu moet men het open onderzoek niet beschouwen als iets extra's, maar als een andere verschijningsvorm dan wij tot nu toe "gewend" waren van "practicum". Natuurlijk moet men voorafgaand "normaal" oefenen met practica, maar daarna kan men open onderzoek (gedeeltelijk) in plaats van klassikaal practicum bedrijven. In de opzet zoals ik die al jaren heb, kost open onderzoek maar op 2 momenten extra tijd: n.l. de oproep tot het zoeken van onderwerpen en de verwerking daarvan (pakweg totaal een halve les) en natuurlijk de bespreking (telkens minstens een half lesuur per koppel). Dit laatste kan men weer vermijden als men de leerlingen verslagen laat inleveren in plaats van bespreken voor de klas. De leerlingen moeten de proeven in hun vrije tijd verrichten. Daartegenover staat bij de proefbespreking voor de klas, dat ze weinig of geen huiswerk hebben als andere koppels hun proef bespreken. Bij een groepsgrootte van 20 leerlingen (we praten alleen over bovenbouw) kost mij de bespreking per klas zo'n 11 lessen. Dit aantal moet verminderd worden met de uren voor een normaal practicum *inclusief de uren die nodig zijn om dat practicum te bespreken*. Bedenk wel dat ten gevolge van de mondelinge bespreking, ik ook iedere keer de proef nabespreek op deze manier. Hier schuilt een gigantisch leereffect (als de leerlingen tenminste goed meedoen!). Per saldo geloof ik niet dat open onderzoek veel leestijd kost. Ook het netto

effect voor leerlingen valt enorm mee. Ik hoop maar dat niet alle vakken dergelijke opdrachten gaan invoeren. Hoeveel tijd het de docent kost, hangt af van zijn relatie met zijn TOA en de inzet van de TOA. Als de TOA bereid is (en gezien zijn positie in verband met de invoering van het formatie budget systeem is dat voor hem/haar erg gunstig, zo niet noodzakelijk), als de TOA bereid is zich flink in te zetten voor open onderzoek, bezorgt hij zichzelf niet alleen veel arbeidsvreugde (per slot van rekening moet een TOA veel contact hebben met leerlingen) maar versterkt hij ook zijn positie op de school, zowel in de richting van de directie als in de richting van de leerlingen. Overigens kan men net zover gaan als men zelf wil. Je kunt ook leerlingen spullen laten maken in de werkplaats of bij het vaklokaal van beeldende vorming, leerlingen dresseren zelf alles op te ruimen etc. Per saldo: het kost mijn TOA aanzienlijk meer tijd, juist ook op tijdstippen als kleine pauzes, middagpauzes en na de lessen. Als je TOA nu al "vol" zit, wordt het doen van open onderzoek een probleem, tenzij je er zelf veel tijd in wilt stoppen.

Probleem 7: beoordeling (produkten van verschillende aard en omvang)

Dit probleem wordt door Kees Hellingman in het tweede deel van de lezing aangesneden en komt ook ter sprake op de door ons te houden werkgroep 20. Het betreft onder andere het probleem van de omzetting van score naar cijfer, het onderling vergelijken van onderzoeken met ogenschijnlijk verschillende moeilijkheidsgraden, en het probleem of je aan alle koppelpartners wel eenzelfde score moet toekennen.

Probleem 8: medewerking van leerlingen

Als u problemen vreest - op grond van eerdere ervaringen - of leerlingen wel bereid zijn mee te doen aan open onderzoek, dan moet u, denk ik, proberen vooral de voordelen van open onderzoek voor leerlingen breed uit te meten. Laat hen zien dat ze nu niet verplicht zijn het door u uitgedachte proefje te doen, maar biedt ze (voorlopig) de mogelijkheid zelf met onderzoeksonderwerpen te komen. Laat voorbeelden horen van spectaculaire proeven. Vertel ze dat ze met uw demonstratieapparatuur mogen werken, bijvoorbeeld uw laser, uw dubbelstraalsoscilloscoop etc. Vooral de computer noemen. Proeven voor hele klassen zijn, gezien die ene UIA kaart, toch niet uitvoerbaar. Je kunt leerlingen natuurlijk ook verplichten uit een bepaald thema of uit een bepaald stuk leerstof te kiezen. Uiteraard rekent u uw leerlingen voor dat het ze geen noemenswaardige extra eigen tijd kost. Dat ze in koppels mogen werken. Om ze te lijmen zou u kunnen toestaan dat er de eerste keer koppels van 3 of 4 leerlingen toegestaan zijn. In de klas is dit gezien de ruimte onmogelijk. Proeven buiten vergen soms 6 of meer handen. Kies dat soort proeven uit. Ook het noemen dat in het beoordelingsmodel het zelf uitkiezen van het onderwerp beloond wordt, werkt positief.

Probleem 9: hulp van derden

Ongetwijfeld zal een aantal onder u donkere wolken zien als ze denken aan de mogelijkheden van hulp die derden (bv. ouders) aan de leerlingen kunnen bieden. Ik denk dat deze

hulp leerlingen niet echt voordeel biedt. Tenminste vanuit mijn ervaring dat leerlingen voor de rest van de klas hun experiment bespreken. Mogelijke hulp van derden moet eerst door het koppel dat de proef bespreekt worden vertaald, dan moeten ze het in hun eigen woorden kunnen weergeven (want oplezen van lappen tekst is natuurlijk verboden) en als dat verhaal te moeilijk is riskeren deze leerlingen moeilijke vragen waar ze geen raad mee weten. Het laatste dat leerlingen willen, is afgaan voor de ogen van hun medeleerlingen. Neen, ik geloof dat leerlingen wel zo slim zijn om niet te veel gebruik te maken van dit soort hulp. Natuurlijk realiseer ik me dat bij het laten maken van verslagen de kans op het niet opmerken van dergelijke hulp groter is, maar ook dan pleit in ieder geval voor de leerlingen dat ze wel weten hoe aan de informatie te komen. Bovendien zullen de leerlingen hun uitkomsten aan de hand van metingen moeten kunnen aantonen.

Voordelen

voordeel 1: TOA wordt bij FBS belangrijk.

Als u al met de regels voor Formatie Budget Systeem in de weer bent geweest voor uw school (per slot van rekening kunt u alles berekenen omdat voor het cursusjaar 92/93 uitgegaan wordt van het aantal leerlingen op 15 september 1991), zult u wellicht bemerkt hebben dat het aantal rekeneenheden nogal krap is. De directie zal willen bezuinigen en in dat licht zal geëist worden met verantwoorde aantallen uren te komen om het bestaansrecht van de TOA te bewijzen. Het opvoeren van x uur begeleiding open onderzoek (en dat past precies in de taakomschrijving van de TOA) geeft de TOA een veel betere uitgangspositie in de richting van schoolbestuur en directie. Bedenk dat de onderzoeksoopdracht *een verplichting* is in het eindexamenprogramma natuurkunde en dus echt *moet*. De gevolgen overziet u ongetwijfeld zelf.

Voordeel 2: medewerking directie (ook rooster ?)

Tot nu toe vroeg u misschien voor iedere bovenbouwklas wel een blokkur om zo mooi practicum te doen met uw leerlingen. Dat hoeft niet meer, want de grotere proeven kunnen prima als onderzoeksoopdracht aan leerlingen gegeven worden. Roostermakers zullen dit erg plezierig vinden en zullen als compensatie best bereid zijn u enige faciliteiten te verlenen om open onderzoek te vergemakkelijken. Er zullen, ook na de lessen, wel leerlingen proeven willen doen in lokalen, gangen, liften en in de omgeving van de school. Soms gaat één en ander gepaard met lawaai of drukte. Maar als uw directie uw leerlingen enthousiast bezig ziet, slaat, daar ben ik van overtuigd, hun lichte geïrriteerdheid snel om in een goede geluimdheid. U zit gebeiteld. Advies: zorg, vooral in het begin, voor spectaculaire proeven. Mijn leerlingen zijn op dit moment bezig met remproeven met echte lokomotieven op het rangeerterrein vlak bij de school! Directies zijn gek op publiciteit en nemen dan best een paar nadelen voor lief!

Voordeel 3: context

Een van de veranderingen van de WEN is het gebruik van contexten. Op een aantal gebieden kan men juist bij open

onderzoek het begrip context probleemloos inbouwen. Bijvoorbeeld veiligheidsgordels, valhelmen, werking van een vliegtuigvleugel, aardlekschakelaar. Mogelijke angst of onzekerheid over context kan (gedeeltelijk) weggenomen worden. Bovendien kan men leerlingen op grond van hun eigen belangstelling laten kiezen. Zeker als men kiest voor een klassikale bespreking van het gedane onderzoek, komen alle leerlingen in aanraking met vele contexten. Open onderzoek bevordert mijns inziens het begrip en het toepassen van contexten.

Mogelijk voordeel 4: techniek

Als je kunt komen tot een goede samenwerking met het vak techniek, biedt dat een aantal voordelen. Denk alleen maar aan de uitwisselbaarheid van instrumentarium, faciliteiten en practicumapparatuur. Zeker als je leerlingen zelf opstellingen wilt laten maken, is dit aantrekkelijk. Nadeel is het in de kaart spelen van de gedachte van sommigen dat techniek een verlengstuk van natuurkunde is en dat dus de TOA ook een deel van zijn werkzaamheden bij techniek moet verrichten.

De beoordeling van open onderzoek

C. Hellingman

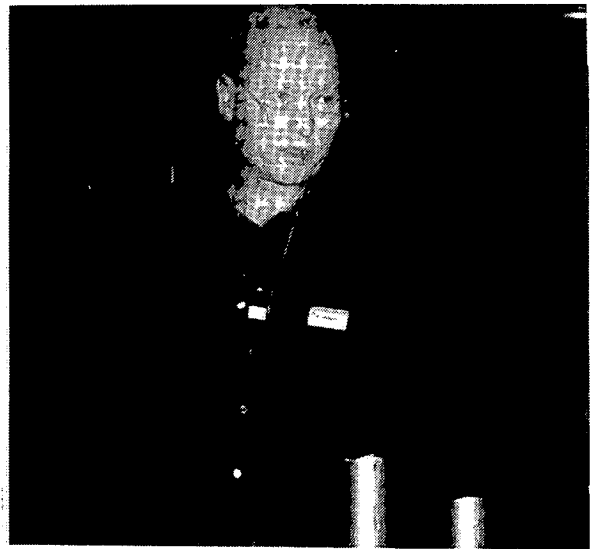
Bij de beoordeling van een prestatie, al dan niet schriftelijk, bestaat altijd de moeilijkheid van het bepalen van de *cesuur*, dat is de grens tussen voldoende en onvoldoende. Bij het beoordelen van een schriftelijk werk, gemaakt door een klas, is het in het algemeen *niet* moeilijk om de leerlingen in een rangorde te plaatsen, van de slechtste naar de beste.

Dit komt omdat alle leerlingen hetzelfde werk gemaakt hebben; een werk waarvoor een ideaal antwoordmodel bestaat. Dit antwoordmodel fungeert als een soort *meetlat*, een uniforme norm waarmee alle leerlingprestaties gemeten en onderling vergeleken kunnen worden. De keuze van de cesuur is dan de enige, althans voornaamste moeilijkheid die overblijft. Deze keuze is onvermijdelijk arbitrair.

In de praktijk hoeft echter ook deze moeilijkheid niet groot te zijn. De docent is immers in principe een goede arbiter. Hij/zij weet welke kennis van de leerlingen verwacht mag worden, welke onderdelen daarvan in het onderwijs veel aandacht hebben gekregen, welke elementen belangrijk zijn in verband met het komende onderwijs, enzovoorts. Dit alles geeft hem/haar veel houvast bij de bepaling van de cesuur.

In het geval van de beoordeling van open onderzoek, waarbij leerlingen zelf hun onderwerp gekozen hebben, heeft de docent het veel moeilijker. In de eerste plaats is de bepaling van de cesuur moeilijker, omdat hijzelf geen keuze heeft kunnen maken in de te toetsen materie. Maar bovendien ontvalt hem de mogelijkheid om de leerlingprestaties langs de uniforme meetlat van het antwoordmodel te leggen. De te beoordelen werken zijn immers van geheel verschillende aard en omvang.

In Engeland is naar een oplossing van dit probleem gezocht in het project GASP (Graded Assessment of Science Project) door het opstellen van een lijst met criteria waaraan natuurwetenschappelijke onderzoeken *in het algemeen* moeten voldoen. Deze lijst is een zeer



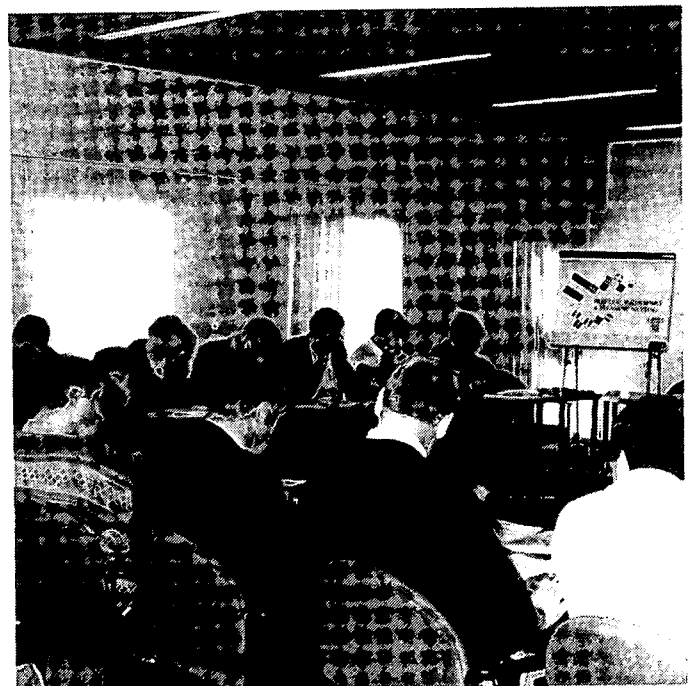
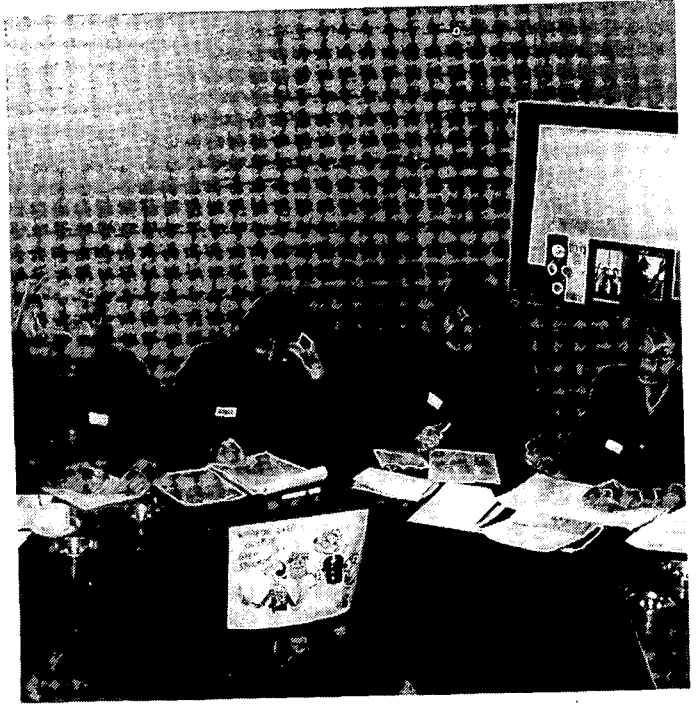
bruikbaar uitgangspunt gebleken voor een NVON-werkgroep uit de Kring Zwolle van natuurkundeleraren. De werkgroep heeft de lijst met criteria en de toelichtingen erop enigszins bewerkt en aangepast voor de Nederlandse situatie van de natuurkunde in de bovenbouw van HAVO en VWO. Deze lijst is gepubliceerd in het NVON-maandblad van oktober 1991 (16^e jaargang, nummer 8). De lijst is ook als losse publicatie bij de NVON verkrijgbaar.

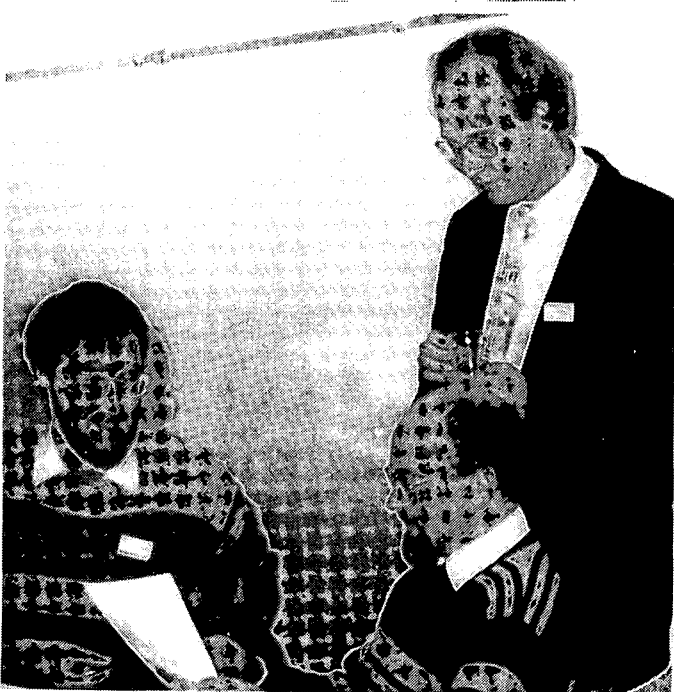
De drie doelen van de lijst zijn

- de docent een handvat geven voor betrouwbaardere en objectievere beoordeling van open onderzoek dan anders mogelijk zou zijn;
- de leerlingen een handvat geven waaraan zij kunnen zien welke zaken bij een open onderzoek aan de orde kunnen of moeten komen;
- een houvast bieden in de eventuele discussie tussen docent en leerling over de beoordeling.

De lijst is voorzien van een toelichting op de criteria en de toekenning van scorepunten, ook voor verslagen van zeer verschillende omvang, en voorts van een toelichting met voorbeelden hoe scores zinvol omgezet kunnen worden in cijfers. Belangrijk punt hierbij is dat men zich niet baseert op het klakkeloos omzetten van de scoreschaal die van 0 naar 78 loopt naar de van 1 tot 10 lopende cijferschaal.

De lijst biedt geen oplossing voor het probleem van het toekennen van *individuele cijfers* voor onderzoek dat in groepsverband gedaan is en ook niet voor de *fraudegevoeligheid* van werk, dat niet onder voortdurende controle gedaan is. Deze moeilijkheden zijn (grotendeels) oplosbaar door gesprekken achteraf met kritische en individueel gerichte vragen van de docent over willekeurige fasen van het onderzoek.





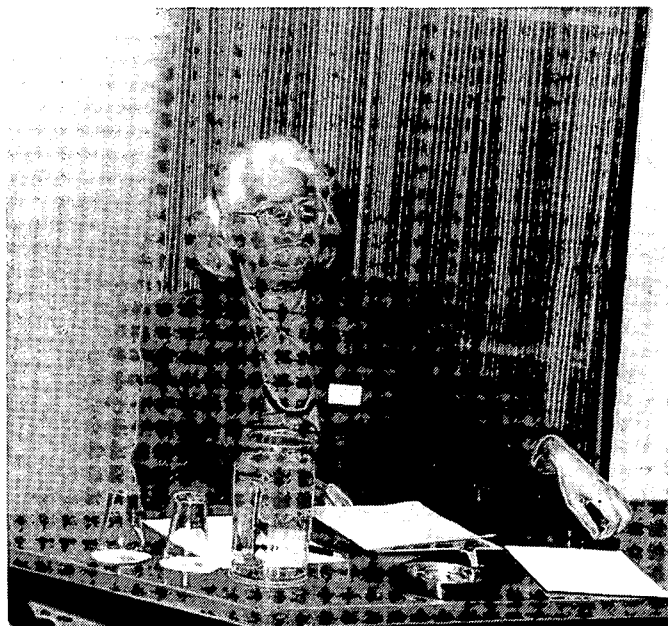
Werkgroepen



Een nieuw profiel natuur en techniek; wat zou dat kunnen betekenen voor de natuurkunde-didactiek?

Werkgroep 1

M. Ferguson-Hessler



In de inleiding tot de discussie werden twee onderwerpen besproken, de nota 'Profiel van de tweede fase voortgezet onderwijs', juni 1991, en de verwachtingen die in het Hoger Onderwijs bestaan ten aanzien van de voorkennis van beginnende studenten.

In een korte samenvatting van de plannen voor de bovenbouw van het voortgezet onderwijs, die in de nota 'Profiel' zijn aangegeven, werd vooral aandacht besteed aan de doorstroomprofielen 'natuur en gezondheid' en 'natuur en techniek', waarin het vak natuurkunde een belangrijke rol speelt. Centraal hierbij staat het idee natuurkunde op te splitsen in twee deelvakken, een algemeen vormend vak, dat verplicht zou worden gesteld voor beide profielen, en een vak 'technische natuurkunde', dat voorbereidt op hogere studies in technische en natuurwetenschappelijke studierichtingen.

Daarna werd een schets gegeven van het verwachtingspatroon van het HO ten aanzien van kennis en vaardigheden van beginnende studenten. Belangrijk zijn daarbij kennis, die productief gebruikt kan worden, dat wil zeggen kan worden toegepast in nieuwe situaties, probleemoplossingsvaardigheden, en studievoordigheden.

Voor de discussie werden de volgende *discussievragen* uitgereikt:

1. Is het doel van doorstroomprofielen realistisch,
 - t.a.v. betere voorbereiding?
 - t.a.v. betere algemeen vorming?
 - t.a.v. interesse, motivatie en mogelijkheden van de leerlingen?
2. Welke criteria kan men gebruiken om algemeen vormende onderdelen en studievoorbereidende onderdelen te onderscheiden?
3. Welke aspecten van de natuurkunde zouden een plaats moeten krijgen in het vak technische natuurkunde,
 - brede en informatieve behandeling van verschillende technische contexten?

- een formele beschrijving van de inhoud van de huidige bovenbouw in formules en strikt gedefinieerde begrippen?
 - complexe technische toepassingen van de natuurkunde?
 - onderdelen die nu in het hoger onderwijs worden behandeld?
 - expliciete oefening in probleemoplossingsvaardigheden?
 - oefening in het oplossen van complexe problemen?
4. Hoe verhouden deze aspecten zich tot het huidige WEN-programma?
 5. Zou de voorbereidende taak van het vak technische natuurkunde leiden tot een andere didactiek dan de huidige natuurkunde?
 - t.a.v. onderwerpskeuze?
 - t.a.v. verdeling van tijd tussen theorie aan de ene hand en practicum en demonstraties aan de andere kant?
 - t.a.v. het probleemoplossen?
 - t.a.v. studiemethoden?

Er ontstond een geanimeerde discussie, die zich heen en weer bewoog door de eerste vier vragen. Tot bespreking van de didactiek van een nieuw vak technische natuurkunde is de groep niet gekomen. Hieronder zijn de hoofdpunten uit de discussie geordend naar inhoud.

1. Algemeen

- Is het mogelijk om een stukje natuurkunde (en eventueel ook scheikunde en biologie) ook in het algemeen verplichte gedeelte van alle profielen opgenomen te krijgen?
- de per vak beschikbare tijd wordt door maatschappelijke krachten bepaald; het is wel van groot belang om te zorgen dat er niet te veel stof in het programma opgenomen wordt in verhouding tot de beschikbare tijd. Het vak moet leuk blijven.

- In het WEN-programma is de hoeveelheid stof toegenomen; zou het niet de voorkeur verdienen om het aantal onderwerpen te beperken, maar de wel gekozen onderwerpen op een dieper niveau te behandelen?
- Meer beroepsvoorbereidende facetten in het onderwijs en een beeld van de studie in het HO zijn gewenst.

2. *De aansluiting VO - HO in het algemeen*

- Zullen twee beta-stromen genoeg zijn?
- Zullen de profielen er niet toe leiden dat voor sommige leerlingen bepaalde wegen worden afgesneden, vooral naar het technisch en natuurwetenschappelijk HO? Houd liever één algemeen natuurkundevak!
- Worden er overstapmogelijkheden geschapen tussen de profielen, en hoe zal de toegang tot het HO worden geregeld voor leerlingen met een 'verkeerde' profiel?
- Een mogelijkheid om deze problemen te verminderen zou zijn om het onderwijs modulair in te richten; echter juist dankzij de vaste profielen kan men de leerstof efficiënt over parallelle vakken verdelen.

3. *De aansluiting HAVO - HBO*

- Is het mogelijk om nu voor het HAVO een echte, zelfstandige opleiding te maken, die iets anders is dan een zwakkere afgeleide van het VWO, en zouden zo de VWO-ers die nu naar het HBO gaan in het HAVO blijven?
- Het probleemoplossen is te moeilijk om aan HAVO-leerlingen te onderwijzen; ze leren het nooit!

4. *Over algemeen vormende natuurkunde contra technische natuurkunde*

- Het verschil tussen vakken zou moeten liggen in een kwalitatief en beschrijvend versus een kwantitatief en abstraherend vak. Algemene natuurkunde behandelt alledaagse verschijnselen, zonder rekenen, terwijl technische natuurkunde zich bezig houdt met ontwerpen, ontwikkelen, modelleren, simuleren, en abstraheren.
- Doet zo'n beschrijvend vak niet het wezenlijke karakter van de natuurkunde geweld aan? - Neen, ook in een hoofdzakelijk beschrijvend vak kan aandacht worden besteed aan begripsvorming en kritisch lezen; hiervoor is rekenen niet nodig.
- Oriëntatie op bruikbaarheid is niet genoeg om kennis bruikbaar te maken; hiervoor is probleemoriëntatie in de opleiding nodig.
- Vergelijk met de ervaringen met wiskunde A en B.

Uitgewerkte vraagstukken

Werkgroep 3

I. de Bruijn

Deze bijdrage gaat zowel over situaties uit het Universitair Onderwijs als uit het Voortgezet Onderwijs. Waar van "studenten" sprake is, kan ook "leerlingen" worden gelezen, tenzij uit de context het tegendeel blijkt. Evenzo zal de term "tentamen" worden gebruikt, waar in het V.O. de term "proefwerk" of "schoolonderzoek" van toepassing zou zijn.

1. Uitgewerkte vraagstukken, waarvoor en wanneer?

Onder een Uitgewerkt Vraagstuk verstaan we een door de docent gemaakte uitwerking op papier van een vraagstuk, waarvan de bedoeling is deze aan de student te verstrekken. Dat kan betrekking hebben op de situatie waar reeds gemaakte vraagstukken worden voorgemaakt of uitgelegd, en een enkele student naar de "klapper" wordt verwezen voor het antwoord op een vraag. Het kan ook zijn dat de studenten de uitwerkingen uitgereikt krijgen, met de bedoeling de vraagstukken niet meer in de les aan de orde te stellen ("stencils"). Wij hebben het hier vooral over de laatste toepassing. Er is nog een tussenvorm mogelijk: de vraagstukken worden eerst als huiswerk opgegeven, maar later toch op stencil verstrekt. De bedoeling is dan meestal dat de studenten bij tentamenvorbereiding in elk geval over een duidelijke en juiste uitwerking kunnen beschikken.

Met dat laatste is direct al een voordeel van Uitgewerkte Vraagstukken aangegeven. We weten immers dat een student alleen die dingen in de aantekeningen opneemt die op het bord verschijnen. Daar kunnen fouten in zitten, een tekening kan gebrekkig zijn overgekomen en er kunnen stukken van de redenering ontbreken, die de docent alleen mondeling heeft verstrekt.

Een tweede voordeel is dat er lestijd wordt bespaard, het onderwijs wordt meer extensief. Verder hebben studenten duidelijke aanknopingspunten voor hun huiswerk, dit in tegenstelling tot de situatie waar vraagstukken thuis worden geprobeerd zonder nadere aanwijzingen. Het *vastlopen in een opgave*, waarna vervolgens niets meer wordt ondernomen, is voorkomen. Ook wordt het risico vermeden dat een student overmatig veel tijd besteedt aan een opgave waarbij een verkeerde weg wordt bewandeld.

Er zijn ook nadelen. Ten eerste is het bestuderen van een uitwerking een meer passieve bezigheid dan het zelf-pro-



beren-te-maken. Ten tweede leidt het uitdelen van uitwerkingen tot veel gesleep met stapels papier en veel copierwerk. Ten derde is het maken van een nette uitwerking geen sinecure: er gaat wel ongeveer een uur per vraagstuk in zitten.

In het volgende proberen we dingen te bedenken, waardoor de voordelen er beter uit komen en de nadelen worden ondervangen. Eerst geven we daartoe een paar literatuurgegevens over Uitgewerkte Vraagstukken, daarna een paar eigen ervaringen opgedaan bij gelegenheden waar wij ze hebben toegepast.

2. Enkele onderzoeksresultaten

De grote vraag is natuurlijk of uitgewerkte vraagstukken leerzaam zijn. Het antwoord daarop is o.a. in een Amerikaans onderzoek (Chi et al., 1989) te vinden. Daarbij werden uitgewerkte natuurkunde-vraagstukken aan studenten voorgelegd, met de vraag "aan zichzelf uit te leggen hoe de oplossing verliep". Na een zekere periode werd een toets afgenomen met hetzelfde type vraagstukken. Het bleek dat de betere studenten de uitwerkingen anders hadden bestudeerd dan degenen die op de toets laag scoorden. De beteren hadden meer door de regels heen gekeken, zich vaker afgevraagd *waarom* een bepaalde stap werd gezet en of die stap ook op andere problemen van toepassing kan zijn. De minder goede studenten lazen de uitwerkingen meer als een roman, structureerden niet zelf etc. Bij het raadplegen van de uitwerkingen tijdens de toets hadden de betere studenten snel het toepasselijke gedeelte gevonden, de zwakkere studenten moesten de gehele uitwerking nalezen voordat ze het betreffende stuk konden vinden. Samenvattend was dus de structurerende manier van bestuderen gekoppeld aan meer *transfer*: het geleerde kwam beter tot toepassing in nieuwe situaties. Helaas ging het onderzoek niet zo ver dat men ook kon zeggen hoe de studenten tot de gewenste manier van bestuderen te brengen waren.

In een onderzoek over programmeer-onderwijs (Van Merriënboer, 1990) werd onderzocht welke vorm van aanbidding van vraagstukken het meeste leerresultaat opleverde. De "klassieke" vorm, het zelf laten oplossen van open problemen, bleek het minst op te leveren. Met uitgewerkte vraagstukken ging het beter, maar het

best scoorde de *completeeringsvorm*, waarbij de student een gedeeltelijk uitgewerkt vraagstuk moest aanvullen. Het is mogelijk dat het extra effect werd veroorzaakt door de grotere mate van activering. Ook hier werd weer gevonden dat *de transfer* door het aanbieden van uitwerkingen was verbeterd. Bij andere onderzoeken (o.a. Ward & Sweller, 1990) werd het voordeel van completeeringsvragen niet altijd gevonden, maar het leereffect van uitgewerkte vraagstukken in het algemeen wel.

Een belangrijk gegeven, dat studenten aan de uitwerkingen moeten kunnen ontleen, is de vraag waarom in een bepaald probleem -of: in een zeker stadium van de oplossing- een wet of regel al of niet wordt toegepast. Dat heeft te maken met het toepassingsgebied van de regel, maar ook met de aangeboden probleemsituatie. Het zijn *kwalitatieve* delen van de redenering (is het nu wèl of is het nu niet?) en het is precies het soort kennis dat in de les wel terloops wordt genoemd, maar meestal niet op het bord terecht komt. Een ervaren probleemoplosser kan het misschien missen, maar degene die een dergelijk probleem voor het eerst ziet, heeft het nodig om de uitwerking te kunnen volgen.

De vraagstukken, waar het hier over gaat, zijn "rekenvragen", waarbij de waarde van een grootheid moet worden gespecificeerd. De vraag naar een *verklaring* of *bewijs* is een ander type, waaraan thans wel onderzoek wordt gedaan, maar waar nog niet zo veel over bekend is.

3. Hoe het werkt in de praktijk

Bij het maken van vraagstuk-uitwerkingen hebben wij gebruik gemaakt van het schema van de Systematische Probleem Aanpak (SPA). De uitwerkingen werden dus gemaakt volgens het schema *analyse - plan - uitwerking - controle*. De studenten die de uitwerkingen kregen, waren vooraf in deze SPA ingewijd. Deze combinatie is in alle opzichten goed bevallen, bijvoorbeeld omdat de introductie van SPA wordt versterkt door de voorbeeldwerking van de uitgewerkte vraagstukken.

Er bleek slechts een beperkt aantal vraagstukken voor deze systematische uitwerking geschikt te zijn. Als er in het vraagstuk slechts één denkstap zit, dan is de systematiek een beetje als het bekende kanon waarmee op een mug wordt geschoten. Bovendien vinden studenten dat de systematiek toch al extra moeite kost, dus is het voor hun motivatie beter als de SPA wordt aangewend in die gevallen, waar het echt nut heeft. Ons aanbod heeft zich daarom beperkt tot ongeveer één uitgewerkt vraagstuk per week, terwijl er 3 à 4 uur per week aan dit vak werd besteed. De helft van de vraagstukken was gesteld in de completeeringsvorm. Hier moest de student ergens in de uitwerking een ontbrekend stuk invullen, dat wij zo trachten te kiezen dat hiervoor een goed begrip van de voorgaande uitleg nodig was.

Een voorbeeld van zo'n uitwerking is bij dit verslag gevoegd. Het gaat hier om een probleem (nog niet door ons gebruikt) dat meestal in 5 VWO aan de orde komt, en het is -met kleine aanpassingen- ontleend aan Scoop. Wij deden dit experiment zowel in 4 HAVO/VWO als in het eerste jaar van de universitaire studie. Na enige tijd namen wij vragenlijsten af, om na te gaan wat de studen-

ten aan deze uitgewerkte vraagstukken hadden gehad. Bij HAVO/VWO werd de vragenlijst afgenomen voordat het bijbehorende proefwerk was geweest, bij de UT-studenten kwam de vragenlijst na het tentamen. Bij gebrek aan een controlegroep konden wij effecten op de leerresultaten niet nagaan. Voor de UT-studenten waren de tentamenresultaten wel beter dan vorig jaar, maar hier waren ook een aantal andere veranderingen in de studie-opzet toegepast, zodat het effect van uitgewerkte vraagstukken alleen niet duidelijk was.

Uit de beantwoording van de vragenlijsten werd het volgende afgeleid:

1. Een aantal studenten pakt de uitwerkingen direct op en studeert eraan. Anderen laten ze liggen tot het tentamen en werken er dan wel mee. Een derde groep doet er helemaal niets mee. Voor UT-studenten is vastgesteld dat deze driedeling *niet* te maken heeft met de prestaties op het vak, en niet of nauwelijks met het geslacht. In de 4 HAVO klas was het aantal niet-gebruikers wat hoger.
2. Studenten (incl. 4 HAVO/VWO) vinden de uitwerkingen vooral van belang in de fase van tentamenvoorbereiding en minder in de "behandelingsfase" van de leerstof.
3. Er is geen verband tussen het antwoord op de vraag "ik kom meestal niet uit de vraagstukken, als ik ze zelf moet oplossen" en de mate waarin op uitgewerkte vraagstukken gestudeerd wordt.
4. Als bij gegeven uitwerkingen iets moest worden ingevuld (completeeringsvragen), dan hadden de studenten daar gemiddeld niet veel moeite mee.
5. Tussen de klassen van de twee docenten HAVO/VWO, die het experiment deden, waren duidelijke verschillen. Vooral op vragen betreffende de *leerzaamheid* van de uitwerkingen traden verschillen op.

Wij concluderen hieruit dat er in elk geval een behoorlijk aantal studenten is, dat aan de uitwerkingen iets heeft.

De docenten kregen buiten de vragenlijsten om nog extra informatie:

6. De docent waarbij de uitwerkingen het minst leerzaam werden gevonden, weet dit aan het karakter van de klassen: enerzijds een Gymnasium-klas "die het niet nodig dacht te hebben" en anderzijds een HAVO-klas "die het wat overdreven vond".
7. Er werden (op HAVO/VWO) nog wel enkele vragen gesteld over de uitwerkingen. Opmerkelijk was dat dit goede, zinvolle vragen waren.
8. Alle studenten, maar vooral HAVO, vonden de uitwerkingen nogal uitgebreid, veel leeswerk, daarom niet erg uitnodigend om ermee aan de gang te gaan.
9. Er is tijdwinst: de uitgewerkte vragen behoeven niet meer klassikaal aan de orde te komen.

4. Hoe het verder zou moeten

Uit alles blijkt dat het systeem van uitgewerkte vraagstukken een goede instructievorm kan zijn, waarmee onderwijstijd wordt bespaard. Bovendien leidt het tot transfer,

althans meer dan het gebruikelijke eigen geploeter met moeilijke opgaven. Een ander voordeel, ook gerapporteerd door sommige deelnemers aan de werkgroep, is de mogelijkheid meer gedifferentieerd onderwijs te geven. Een nadeel is dat het geen bijster uitdagende onderwijsvorm is, er komen geen proeven aan te pas en er is geen geïnspireerde "performance" van een docent bij. Het is echter wel een voor leerlingen veilig aandoend systeem: zo zullen bijvoorbeeld faalangstigen zich er prettiger bij voelen dan bij het steeds weer zelf moeten proberen van moeilijke opgaven.

Het lijkt gewenst dat er maatregelen worden genomen om zo'n systeem goed te laten werken. Hoewel we het nu niet echt hebben aangetoond, bevelen we een opzet in combinatie met Systematische Probleem Aanpak beslist aan. Daarnaast zou er een maatregel moeten worden bedacht om het studeergedrag in goede banen te leiden, dus ervoor te zorgen dat alle studenten (niet alleen degenen die al "goed" zijn) de uitwerkingen structurend doorwerken.

Aan dit probleem zou nog onderzoek moeten plaatsvinden. Het gaat om een studievaardigheid die ook in vervolgstudies van groot belang is. Een eerste idee om dit te bereiken is het gebruik van de completeringsvorm ("stippeltjes" op een essentieel punt in de uitwerking). Ten aanzien van de vorm van de uitwerkingen doet zich nog het probleem voor van de omvang van de formulering. Zeker voor HAVO is een teveel aan tekst niet bevorderend voor de motivatie van de student. Maar aan een enigszins complete probleemanalyse komt vanzelf behoorlijk wat tekst te pas, de kwalitatieve problemen moeten nu eenmaal aandacht krijgen. Als studenten deze niet willen lezen, dan is dat misschien wel een uiting van de bekende neiging om een probleem niet goed vooraf te willen analyseren, de zogenaamde "kick-and-rush" strategie. Ook hier zal onderzoek moeten uitwijzen waar de oorzaak ligt: bij de studiehouding of bij de wijze van uitwerken.

Referenties

- Chi, M.T.H., M.Bassok, M.W.Lewis, P.Reimann & R.Glaser (1989). Self-Explanations: How Students Study and Use Examples in Learning to Solve Problems. *Cognitive Science*, 13, 145-182
- Van Merriënboer, J.G.J. (1990). Strategies for programming instruction in high school: Program completion vs. program generation. *Journal of Educational Computing Research*, 6, 265-287.
- Ward, M. & J.Sweller (1990). Structuring Effective Worked Examples. *Cognition and Instruction*, 7, 1-39.

Bijlage:

Voorbeeld van uitwerking

Een staafe ligt op twee rails en kan zonder wrijving bewegen. Wij houden een magneet er vlak boven en sluiten de schakelaar. Het staafe rolt dan naar rechts. Door de beginversnelling te meten bepalen we de lorentzkracht op het staafe, deze is $F_l = 0,020 \text{ N}$. De totale weerstand van de kring is $2,0 \Omega$. Bereken de (gemiddelde) sterkte van de magneet bij het staafe en bereken welke pool onder zit.

I. Wat is er aan de hand? (analyse)

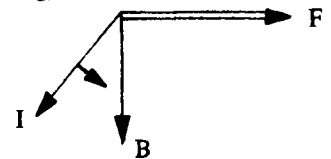
De magneet geeft veldlijnen, verticaal naar boven óf naar beneden (wordt gevraagd). Door het staafe gaat een stroom: de richting kan berekend worden omdat de + van de bron bekend is. Ook voor de grootte van I zijn er diverse gegevens. De F_l is naar rechts, grootte $0,020 \text{ N}$. De formule voor F_l is $B \perp I \ell$, $B \perp$ is de gevraagde B (B staat $\perp I$).

II. Hoe gaan we dat aanpakken? (plan)

Met de "tweede kurkentrekker-regel" (I naar B over kleinste hoek draaien) is de richting van B te bepalen. Met $F_l = B \cdot I \cdot \ell$ is B te vinden, als I is te vinden.

III. Wat is het antwoord? (uitwerking)

Richting: B is naar beneden, want dan is F_l naar rechts



Grootte: $I = \dots\dots\dots \ell = 0,030 \text{ m}$
 $B = \frac{F_l}{I \cdot \ell} = \dots\dots\dots (\dots) \text{ (eenheid)}$

IV. Kan dat kloppen? (controle)

Als we de vraag nalezen, dan blijkt dat niet de richting van het magneetveld was gevraagd, maar "welke pool onder zit". De veldlijnen komen "uit" de magneet, het moet daarom een Noordpool zijn. (Verder klopt 't)

Wennen aan basisvorming

Werkgroep 4

J. Schipper



De belangstelling voor deze werkgroep was groot: beide keren vol, totaal 70 deelnemers.

A. De deelnemers

Aan de deelnemers werden vooraf enige vragen voorgelegd

1. Aan welk type leerlingen geeft U les?
Antwoorden: vwo-leerlingen: 28 %
havo/vwo: 28 %
mavo/havo/vwo: 36 %
i/lbo/mavo/havo/vwo: 8 %
2. Hoeveel jaren leservaring hebt U?
Antwoorden: 0 - 5 jaar: 4 %
5 - 10 jaar: 8 %
10- 15 jaar: 32 %
15- 20 jaar: 24 %
meer dan 20 jaar: 32 %
3. Desgevraagd wist 12% al iets of veel over basisvorming, 64% weinig en 24% niets.
4. Op: "Basisvorming lijkt mij een zinvolle verandering" antwoordde 8% "ja", 36% "neen" en 56% had nog geen mening.

B. Algemene informatie over basisvorming

- Basisvorming is geen nieuwe schoolsoort, geen midden-school, maar beoogt wel enige inhoudelijk veranderingen. De inhouden worden per vak omschreven in "kerndoelen". Waar wij mee te maken krijgen zijn de kerndoelen voor natuur-/scheikunde. Dit is dan een nieuw vak, waarin we inhouden terug vinden uit de afzonderlijke vakken natuurkunde en scheikunde in de onderbouw.
- De structuur van het onderwijs wordt niet gewijzigd. De huidige examens blijven bestaan. Dat wil zeggen, dat er voor scholen met eindexamenleerlingen, natuurkunde en/of scheikunde, geen reden is, het aantal lessen in de lessentabel te veranderen.
- Iets over de voorschriften voor de lessentabellen: de tabel voor basisvorming is een *advies* en adviseert voor natuur-/scheikunde 5 uur. De overige inrichtingsvoorschriften worden bezien, de huidige minimumtabellen worden waarschijnlijk vervangen door adviestabellen

per schoolsoort. Voor havo/vwo-scholen vraag ik mij af, of invoering van basisvorming veel invloed zal hebben op het aantal lessen natuurkunde of scheikunde. Het gaat vooral een rol spelen voor die schoolsoorten, waarbij leerlingen tot nu toe deze vakken niet kregen, of vroegtijdig konden laten vallen: mavo en lbo. Voor die scholen geldt, dat er in de onderbouw een groep leerlingen bij komt, die wel natuur-/scheikunde krijgt, maar er geen examen in gaat doen. Die scholen krijgen in de onderbouw al te maken met een groep examenleerlingen (C/D-natuurkunde, of C/D-scheikunde) en een andere groep, niet-examenleerlingen. Een uitbreiding van uren dus. Het is dan de vraag of en hoelang je die twee groepen bij elkaar kunt houden, om zodoende de keuze uit te kunnen stellen.

- Over de bevoegdheden: scholen worden geacht basisvorming met het aanwezige personeelsbestand uit te voeren. Dat wil zeggen dat er geen gedwongen ontslagen komen. Het bevoegd gezag kan gedurende 4 jaar leraren bevoegd verklaren, op voorwaarde dat zij zich scholen. Het Proces Management Basisvorming heeft mij verzekerd, dat een ieder, die de bevoegdheid natuurkunde of scheikunde bezit, bevoegd is het vak natuur-/scheikunde in de basisvorming te geven. Of docenten zich daartoe ook bekwaam voelen, is een individuele zaak. Er zal per domein in bijscholing worden voorzien. De verwachting is, dat met bevoegdheidseisen om geïntegreerde natuurwetenschappen (natuuronderwijs) in de onderbouw te geven ook soepel zal worden omgegaan. Bij integratie denken we vooral aan biologie met natuur-/scheikunde, maar er zijn ook mogelijkheden met techniek, verzorging en informatiekunde.

C. Tijdschema van invoering

Invoering van basisvorming moet per 1 augustus 1993 plaatsvinden. Scholen starten dan voor het eerst in de brugklas. Nu al krijgen scholen de daarvoor benodigde uren om zich op de invoering voor te bereiden. Scholen zijn verplicht, om leerlingen aan het eind van de tweede klas een voortgangsadvies te geven. Zij moeten leerlingen dan adviseren over de te volgen leerweg. Wanneer na-

tuur-/scheikunde pas in de tweede klas zou beginnen, betekent dat, dat wij al een advies moeten geven op grond van een beperkte ervaring met de leerlingen. Dit pleit ervoor, ook met natuur-/scheikunde al in de brugklas te beginnen. Een aanpak met natuuronderwijs is dan te overwegen.

D. Toetsing

Het onderwerp toetsing van basisvorming komt nog in de tweede kamer ter discussie. Er zullen echter door de overheid toetsen beschikbaar worden gesteld en scholen zijn gehouden die te gebruiken. Ik verwacht geen landelijke, centrale toetsing. Scholen zullen vrij zijn om te bepalen wanneer de toetsen worden afgenomen en hoe ze deze normeren. Ik kan me voorstellen, dat de scores wel centraal worden verzameld en verwerkt, om zodoende een gemiddelde score per toets(item) te rapporteren. De kerndoelen zijn globaal omschreven. Dat is goed, dat moet zo blijven. Scholen vinden voor de interpretatie ervan voldoende ruimte voor hun eigen onderwijsopvatting. We moeten niet proberen, deze kerndoelen landelijk te specificeren, het perkt de ruimte van de scholen in. Elke school moet zijn onderwijs concretiseren binnen de omschrijving van de kerndoelen. Aan toetsmakers is m.i. de opgave, om toetsen te leveren, die meten of aan de minimumeisen per kerndoel is voldaan. Dat zal geen hoog niveau mogen zijn, maar een duidelijke drempel, die aangeeft, wat de burger nodig heeft om maatschappelijk mee te kunnen. Prognostische uitspraken mogen we er niet aan toekennen. Daar hebben we het Cito niet voor nodig. Verwijzing van leerlingen blijft een lastige taak, die elke school naar beste vermogen nu al uitvoert. Basisvorming verandert daar niets aan. Gelukkig blijft determinatie mensenwerk, te verbeteren door zorgvuldige reflectie op eigen ervaringen ermee.

E. De vernieuwingen

Een grote opgave bij basisvorming is, *alle* Nederlandse kinderen gedurende vijf jaaruren natuur- en scheikundeonderwijs te geven. Voor lbo- (vbo-)scholen is dat heel ingrijpend: veel scholen kennen tot nu toe geen van beide vakken. Voor mavo-scholen betekent het dat leerlingen natuurkunde niet meer kunnen laten vallen aan het eind van de tweede klas. Voor havo/vwo behoren natuurkunde en scheikunde voor alle leerlingen al tot het minimumprogramma. Betekenisvolle lessen voor alle leerlingen, daar hebben we nog weinig ervaring mee: tot nu toe alleen op scholen met de betere leerlingen. De zwaarste taak ligt op de schouders van de collega's van het beroepsonderwijs. Vernieuwingsprojecten gelden aan hen voorbij gegaan. Practicum is er nog lang geen gemeengoed. In NVON, in adviescommissies en op Woudschoten zijn ze ondervertegenwoordigd.

Voor havo/vwo-scholen HOEFT er niet veel te veranderen. Lessentabellen behoeven slechts weinig wijziging. Er komen nieuwe vakken bij: verzorging, informatiekunde en techniek. Deze vragen in totaal 7½ jaaruur. Er worden 6 lessen meer gesubsidieerd: in de eerste drie leerjaren gaat het aantal lessen van 30 naar 32 uur per week. Een havo/-

vwo-school, die zoveel mogelijk bij het oude wil laten, kan volstaan met overleg over welk vak in welk jaar een ½ uur inlevert t.b.v. de "nieuwe" vakken. Dat dit uiteraard niet de bedoeling van basisvorming is, hoeft geen betoog. Ik wil met deze uitspraak de vrees voor basisvorming weg nemen. Zie het als een kans om je onderwijsbouw te veranderen. Vernieuwingen in eigen tempo, met eigen mogelijkheden, waarbij eigen schooldoelstellingen meer expliciet worden.

F. Wat kan er zoal gaan veranderen?

Domeinen

De inhoudsbeschrijving van natuur-/scheikunde bestaat uit algemene en concrete doelstellingen (kerndoelen). De algemene beogen persoonlijke ontwikkeling en maatschappelijke vorming een grotere plaats te geven dan tot nu toe het geval is. De kerndoelen zijn geordend in acht domeinen. Daarbij is zoveel mogelijk gekozen voor onderwerpen uit het dagelijks leven. Dat is niet echt nieuw: het komt sterk overeen met de huidige vernieuwde lespraktijk in de afzonderlijke vakken. Wel nieuw is dat het onderwijs betekenis moet krijgen in de leefomgeving van leerlingen. De relevantie voor maatschappelijk functioneren moet leidraad worden voor het ontwerpen van lessen. Meer informatie over de doelstellingen en veel meer nuttige informatie vindt U in: "Op weg naar basisvorming Natuur- en scheikunde" uitgegeven door de SLO en aldaar te bestellen. (het zgn. "Startpakket", een must!) Zij hebben ook voorbeeldlesmaterialen gemaakt: "Veilig rijden", "Mooi schoon" en "Ingeschakeld", respectievelijk voor de subdomeinen "verkeer en veiligheid", "reinigingsmiddelen en cosmetica" en "schakelingen". Bij het APS is voorbeeldmateriaal beschikbaar over "Verbranden".

Vervolgonderwijs en beroepskeuze

Leerlingen moeten inzicht verwerven in die facetten van natuur- en scheikunde die van belang zijn voor het kiezen van een vervolgopleiding of een beroep. Met het oog op emancipatie-effecten wordt in alle domeinen aandacht gevraagd voor het gebruik van natuur- en scheikundige kennis en vaardigheden in de praktijk van beroepen in uiteenlopende sectoren. Scholen moeten in een schoolwerkplan expliciet aangeven, hoe zij dat vormgeven. Lesmateriaal, dat hierbij als voorbeeld kan dienen is ontwikkeld in het kader van het project "Bolero", verkrijgbaar bij de ledenservice van de NVON. Bij het APS is het "Gelijk-Op" materiaal verkrijgbaar: Constructies en Productverbetering.

Milieu

In de kerndoelenformulering wordt uitdrukkelijk aandacht gevraagd voor milieu-educatie. Scholen wordt gevraagd, dit op structurele wijze in vakoverstijgende samenhang vorm te geven. Voorbeeldlesmaterialen zijn ontwikkeld in het NME-VO project en verkrijgbaar bij de SDU: Handboek NME-VO, Verkeerslawaaï, Brandstof.

Computers

De leerlingen dienen de computer te kunnen gebruiken bij het verzamelen of verwerken van gegevens of het inzichtelijk maken van processen. Zo staat het in de kerndoelen, geschikte software voor de onderbouw en bij de genoemde domeinen is mij niet bekend.

G. Natuuronderwijs

Er zijn sterke argumenten aan te voeren, om bij basisvorming over te gaan tot integratie van natuur-/scheikunde en biologie in een nieuw vak: natuuronderwijs. Daar is al veel ervaring mee opgedaan, vooral in brede scholengemeenschappen, maar ook op Twickel, Rijnlands en Rivendelcollege. De slo heeft daar studies voor verricht en een aanzet voor een leerplan gemaakt.

Van S.Ettekoven, SG. Lelystad, weet ik, dat hij met "Natuurtalent" van Meulenhoff een dekkend programma maakt voor de kerndoelen biologie en natuur-/scheikunde, en aldus twee jaar lang lesgeeft aan heterogene groepen van i- t/m vwo-leerlingen. Voor hen, die natuuronderwijs overwegen, wijs ik tenslotte nog op de mogelijkheid, lid te worden van de vereniging "MONO", Materiaal Ontwikkeling NatuurOnderwijs. (Th. Janssens, Batenburg 214, 7423 XS Deventer.)

H. Leerboeken

De vraag ligt voor, hoever het staat met de uitgave van leerboeken voor de basisvorming. Mijn antwoord daarop is, niet overhaast tot aanschaf van nieuwe leerboeken over te gaan, laat u niet misleiden door slogans. Veel uitgevers zullen eerst met een aanvulling op bestaande boeken komen. De leerstof zal voor havo/vwo niet erg gaan veranderen. Wat wel anders wordt, is de manier, waarop u uw lessen vormgeeft. Hoe krijgen ze voor leerlingen meer betekenis? Hoe gaat u om met beroepskeuze, hoe betreft u de leefomgeving van leerlingen in uw onderwijs? Hoe leert u hen op grond van argumenten een mening te vormen? Hoe gaat u om met milieueducatie op uw school? Wat kunt u met computers? Op deze en andere vragen vindt u wellicht de beste antwoorden door aanpassingen en aanvullingen op uw oude vertrouwde boek. Het vraagt van u nieuwe werkvormen, meer dialoog, meer open opdrachten, daar kunt u nu al mee beginnen. Ik wens u daarbij veel plezier en succes. Nieuwe ervaringen, die u dan opdoet, zijn straks bepalend voor het leermiddel dat u gaat kiezen.

Voor verdere informatie over basisvorming: Algemeen Pedagogisch Studiecentrum, APS. Postbus 7888, 1008 AB Amsterdam. Tel. 020-5481756.

Is practicum tijd- verspilling?

Practicum/demonstratie en begripsvorming

Werkgroep 5

E. v. d. Berg & G. Bosch



Soorten practicum

Practica kunnen onderverdeeld worden op doelstelling:

1. Het *begripspracticum* is in de eerste plaats bedoeld als hulpmiddel om de leerlingen te helpen bij het vormen van fysische begrippen.
2. Het *onderzoekspracticum* is bedoeld om leerlingen te oefenen in onderzoeksvaardigheden als het opzetten van een experiment, observeren en meten, analyseren van meetgegevens, formuleren van conclusies en interpretaties, etc.
3. Het *vaardigheidspacticum* is bedoeld om specifieke vaardigheden in het werken met apparaten te oefenen zoals het gebruik van een multimeter of oscilloscope, solderen, titreren, een schakeling bouwen, etc. Vaardigheidspactica kunnen vaak het beste gegeven worden als korte oefening voor het echte onderzoeks- of begripspracticum opdat de benodigde vaardigheden/technieken reeds beheerst worden in het navolgend practicum. Dan kan de aandacht gefocust worden op begrippen of op onderzoeksvaardigheden. Het verschil met 2. is dat de vaardigheden onder 3. meer specifiek en meer psychomotorisch van aard zijn.

Practicumdoelen die binnen elk van de genoemde soorten practicum een rol kunnen spelen zijn: a) Proeven moeten het experimentele karakter van de fysica illustreren (laten zien dat theorieën altijd experimenteel getoetst moeten worden), b) kritisch leren denken, en c) practicum kan motiverend werken (de werkvorm practicum met slecht gemotiveerde klassen is vaak gemakkelijker hanteerbaar dan klassikale lessen).

Resultaten van practicum

De meeste fysici en fysicadocenten (en wijzelf) "geloven" in practicum. Dat "geloof" wordt behoorlijk op de proef gesteld door onderzoek. De meeste practica blijken niet meer bij te dragen aan begripsvorming (en onderzoeks-

vaardigheden) dan andere en goedkopere werkvormen zoals demonstraties of de gemiddelde klassikale les. Dit betekent dat we *of* het practicum verkeerd gebruiken, *of* beter geen practicum kunnen doen. Voor bewijsmateriaal verwijzen we naar de *reviews* van de literatuur over practicum door Hofstein & Lunetta (1982), Bates (1978), Bryce en Robertson (1985), Garrett en Roberts (1982), en Boud e.a. (1986).

De meeste practica in middelbare schoolboeken zijn bedoeld als steun voor begripsontwikkeling. Bates (1978) concludeerde echter uit een *review* van tientallen onderzoeken: *Lecture, demonstration, and laboratory teaching methods appear equally effective in transmitting science content.*

Practicum kost veel tijd en geld, waarom levert het weinig op? Redenen die naar voren zijn gebracht, zijn o.a. (Van den Berg & Giddings, 1986) dat practica vaak niet aansluiten bij de leefwereld ideeën van leerlingen, dat de keuze van practicumproeven niet doordacht is, dat de drie soorten practica vaak vermengd worden, dat veel instructies/werkbladen te kookboekachtig zijn (onderzoekspracticum), dat practicum begeleiders geneigd zijn te gemakkelijk antwoorden te geven waardoor leerlingdenken op een laag pitje blijft, en dat integratie van practicum met theorielessen vaak te wensen over laat (hoewel waarschijnlijk beter in Nederland dan in veel andere landen). Bewijzen hiervoor zijn o.a. te vinden bij Kyle e.a. (1982), Sanford (1987), Doyle (1985) en in de misconceptie literatuur (Osborne & Freyberg, 1985).

Hoe brengen we begrippen aan?

Alvorens specifiek de rol van practicum in begripsontwikkeling te bespreken, moeten we even heel summier een aantal stappen noemen in het onderwijzen van begrippen. Diverse auteurs (Osborne & Freyberg, 1985) onderscheiden fasen in het aanbrengen van begrippen: a) diagnose van leerlingconcepties, b) oriëntatiefase waarin leerling-

aandacht gericht wordt op te bestuderen verschijnselen en op hun eigen concepties daarover en waar het begin van een taal voor beschrijving ontstaat, c) uitdagings(*challenge*)fase waarin leefwereldideeën worden geconfronteerd met de werkelijkheid via experiment (omdat er ook andere methoden zijn dan confrontatie, zou deze fase ook *reconstructiefase* genoemd kunnen worden, de leerling conceptie wordt gereconstrueerd) en d) toepassingsfase waarin geoefend wordt en begrippen verder worden toegepast in conceptuele vragen, sommen, of toepassingsexperimenten. Een belangrijke fase e) is volgens Driver en Oldham (1986) een reflectie van leerlingen op de eigen conceptuele veranderingen. Bewustwording van de eigen conceptuele verandering kan retentie ten goede komen. Met het bovenstaande kunnen de volgende stappen geformuleerd worden voor voorbereiding van lessen in begripsonderwijs:

1. Definieer de concepten en maak een lijst van essentiële eigenschappen en relaties met andere concepten. Een conceptenkaart kan hier handig zijn.
2. Oriëntatie (door de docent) op preconcepties van leerlingen d.m.v. literatuurstudie, en/of diagnostische toetsen, en/of interviews met leerlingen.
3. Kies een slimme volgorde van begrippen. Via een non-traditionele volgorde kunnen soms begripso problemen omzeild of voorkomen worden.
4. Planning van lessen met aansluiting bij leefwereldideeën, hetgeen *niet* noodzakelijk betekent dat men een continue ontwikkeling kan of moet construeren van leefwereldbegrip naar het begrip als bedoeld. In de planning kunnen de bovengenoemde fasen gebruikt worden.
5. Uitvoering van geplande lessen met speciale aandacht voor het volgen van leerlingdenken via veel interactie tussen leerlingen en docent. Probeer ook te bereiken dat leerlingen zich bewust worden van hun eigen concepties.
6. Oefening van begrippen via conceptuele vragen, sommen, en eventuele practicumopdrachten (niet te ambitieus, wel grondig).
7. Evaluatie met begrippentest.

Rol van practicum of demonstratie

Uit het bovenstaande zal duidelijk zijn dat practicum en demonstratie niet meer zijn dan onderdelen in een totaalstrategie voor begripsonderwijs. Verder moet opgemerkt worden dat kennis van leefwereldideeën niet automatisch leidt tot betere manieren om begrippen aan te brengen. Veel leuk bedachte strategieën om misconcepties te remediëren, hebben nog weinig opgeleverd. Het klasseleven en het denken van leerlingen zijn nu eenmaal ingewikkelder dan quantummechanica.

Oriëntatiefase: Experimenten kunnen een rol spelen in elke fase van het leerproces (oriëntatie, uitdaging, en oefening). In de *oriëntatiefase* is practicum erg geschikt omdat dan de docent rond kan gaan en conversaties van leerlingen kan beluisteren. Dat levert waardevolle informatie op over leerlingdenken.

Reconstructiefase: We bespreken twee technieken:

1. conceptueel conflict
2. conceptuele bruggen.

1. Conceptueel conflict.

Bij conceptueel conflict proberen we de leerling te confronteren met experimenten (demonstraties of practicum) die in strijd zijn met hun concepties. We hopen dan dat leerlingen zich realiseren dat er iets mis is met hun ideeën en dat dat de start is voor conceptuele reconstructie. Er zijn veel situaties waar leerlingen met hun misconcepties tot duidelijke voorspellingen komen die toch fout zijn. Het experiment kan dan de discrepantie tussen leerlingdenken en werkelijkheid aan het licht brengen.

Voorbeeld: de misconceptie dat zware voorwerpen sneller vallen dan lichte is wijd verspreid. Een eenvoudige falsificatie van dat idee kan gedaan worden door twee stenen van verschillende massa, of een kwartje en een gulden, of zelfs een in ongelijke stukken gebroken krijtje te laten vallen. (De demonstratie of het practicum kan dan gevolgd worden door een proef waarin wrijving met lucht niet te verwaarlozen is.)

Het is de vraag of cognitief conflict via practicum of demonstratie bereikt moet worden. In demonstraties is het gemakkelijker om de aandacht van leerlingen te richten op de relevante variabelen en te voorkomen dat leerlingen verzanden in irrelevante details. Docentencontrole over leerlingactiviteiten is sterker en gebruik van tijd meer efficiënt. Belangrijk is dat de leerlingen zich bewust worden van hun concepties; daarom waren onze demonstraties in Indonesië¹⁾ een mengsel van klassikale en individuele (bv. voorspellen) activiteiten. Een stapsgewijze behandeling van de cognitief conflict demonstratie is als bijlage opgenomen. Wij zijn zelf iets meer geneigd tot een keuze voor demonstratie, hoewel we in onze lessen ook vaak practicum hebben gebruikt om cognitief conflict te bereiken. In nascholing van docenten in Indonesië werkte het practicum juist erg goed.

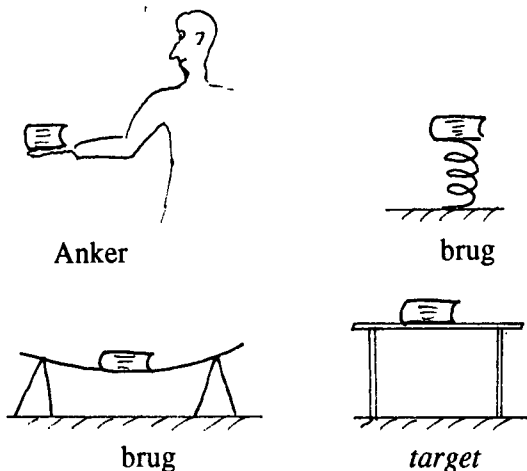
Het cognitieve conflict als didactische aanpak is door velen gebruikt, maar met wisselend succes. Evenals in de wetenschap, laten leerlingen zich niet zomaar "omverpraten" door een experiment. Gunstone en White (1990) rapporteren over een leerling die het consumptie idee van elektrische stroom aanhang (stroom naar apparaat groter dan stroom eruit, stroom wordt geconsumeerd). Na een experiment concludeerde de leerling dat "in" en "uit" stroomsterktes gelijk waren. Een aantal maanden later werd de leerling weer gevraagd. Toen zei hij dat de ingaande stroom groter was, *want dat hadden we toch in dat experiment gezien*. Deze aanpassing van experimentele resultaten aan theorie is niet onbekend in de geschiedenis van de wetenschap.

Onze eigen ervaring in onderzoek in Indonesië is dat een conceptueel conflict slechts onderdeel kan zijn in een totaal strategie om misconcepties te remediëren. Het conceptueel conflict kan een leerling aan het twijfelen brengen over zijn/haar eigen concepties, het (gedeeltelijk) foute conceptuele bouwwerk van de leerling kan verstoord worden. Maar we moeten dan andere methoden

¹⁾ Ed van den Berg werkte van 1981-1991 in Indonesië.

gebruiken (anders dan conflict, zie bijvoorbeeld het anker-bruggen-analogie idee hieronder) om dat conceptuele bouwwerk echt te verbouwen. In Indonesië probeerden we analogieën aan te dragen voor elektrische stroom zodat leerlingen zich een beeld kunnen vormen. Licht (1990) en anderen hebben gesteld dat conceptueel conflict nuttig is in de bovenbouw, waar leerlingen beter over hun eigen concepties kunnen denken dan in de onderbouw. Kortom, de op het oog aantrekkelijk ogende methode van conceptueel conflict is zeker een nuttige eerste stap, maar leidt op zich nog niet tot het juiste concept. Voorbeelden van experimenten die conceptueel conflict kunnen oproepen, zijn talrijk. Een interessant boek voor demonstraties/practicum met een paar honderd experimenten met onverwachte (*counter-intuitive*) resultaten is *Invitations to Science Inquiry* door T.L. Liem (Ginn and Company, Boston 1981).

2. *Conceptuele bruggen*. Een techniek om aan te sluiten bij intuïtieve ideeën i.p.v. conflicten op te roepen, is het anker-bruggen-analogie idee. Deze techniek kan volgen op cognitief conflict of kan als alternatief daarvoor worden toegepast. Er zijn situaties die moeilijk door leerlingen te begrijpen zijn, maar die via analogieën of *conceptuele bruggen* te herleiden zijn tot situaties die wel begrepen worden. Minstrell (1982) kwam er achter dat veel van zijn leerlingen niet in de normaalkracht geloofden.



Figuur 3: Anker, bruggen, en *target* situatie

Een boek op een tafel blijft daar omdat de tafel ertussen zit, niet omdat er een kracht op zou werken (volgens de leerlingen). Minstrell construeerde vervolgens een serie situaties, beginnend met boeken op een uitgestrekte docentenarm. In die situatie (het conceptuele anker) konden de leerlingen zich voorstellen dat de docent een kracht naar boven moest uitoefenen op de boeken. Vervolgens gebruikte hij een paar andere situaties (conceptuele bruggen) als een boek op schuimrubber of op een veer, een boek op een dunne boordplaat die doorbuigt. Vanuit de anker situatie begrepen leerlingen ook dat er in de brug-situaties een kracht naar boven werkt. Uiteindelijk kwam Minstrell terug op de *target* situatie: het boek op de tafel. Met een lichtstraal kon hij laten zien dat de tafel

ook wat doorbuigt. Via een anker en conceptuele bruggen maakte hij de normaalkracht aannemelijk en liet hij tegelijkertijd de aard van de normaalkracht zien: een reactiekracht bij vervorming, een Hookekracht! Minstrell's ideeën zijn door Clement en Kornuitten (Clement e.a. 1989) meer uitgewerkt en toegepast op andere situaties. Bosch heeft dergelijke ideeën uitgeprobeerd in Nederland in de analyse van krachten (normaalkracht, wrijvingskracht). De lessenserie leidde tot een duidelijke verbetering van leerlinginzicht in krachten. Verder bleek er geen verschil te zijn tussen resultaten van een practicumversie en een demonstratieversie van het lesmateriaal, behalve dat meisjes van de demonstratieklassen beter presteerden dan meisjes van de practicumklassen.

Oefenfase: In de oefenfase beogen we een consolidatie van het begrip d.m.v. toepassing daarvan op veel verschillende situaties. Dat kan via conceptuele vragen (mooie voorbeelden in Hewitt, 1987), het kan ook via een circuspracticum met allerlei korte (5-10 minuten) experimentjes waarin leerlingen een verschijnsel tegenkomen en dat moeten verklaren. Er zijn veel situaties in theorie en sommen die in een of twee minuten even aanschouwelijk gemaakt kunnen worden door een kleine demonstratie. Als een som gaat over vallende voorwerpen, laat wat vallen. Als er een hefboom is, gebruik dan even een liniaal als hefboom. Gebruik voorwerpen uit de klas om even snel zaken te illustreren. Dit soort kleine demonstraties past in elke fase van het begripsonderwijs. Kortom, aanschouwelijk natuurkunde onderwijs om school- en leefwereld te verbinden.

Reflectiefase: In de reflectiefase beschrijven leerlingen hoe hun ideeën veranderd zijn. Het experiment moet dan alleen in het geheugen worden teruggeroepen, niet uitgevoerd.

Conclusies

Vastgesteld werd dat volgens literatuur practicum geen voordelen biedt boven andere methoden in het onderwijzen van *content*. Redenen daarvoor werden gegeven, waaronder gebrekkige aansluiting van practicum bij leefwereldideeën van leerlingen. De misconceptieliteratuur laat een aantal manieren zien waarop practicum begripsofbouw kan steunen, o.a. door genereren van cognitief conflict en het anker-bruggenidee. Tot dusver is echter nog niet aangetoond dat practicum meer effectief is dan demonstraties in het begripsonderwijs. De tijd en werk besparende demonstratie wordt daardoor zeker zeer aantrekkelijk.

Literatuur

- Bates, G.R. (1978). The role of the laboratory in secondary school science programs. In: M.B. Rowe (Ed.), *What research says to the science teacher* (Vol I). Washington D.C.: National Science Teachers Association.
- Berg, E.v.d., Giddings, G. (1986). *Teaching in the laboratory: An alternatieve view*. Science and Mathematics Education Centre, Curtin University of Technology, Perth, Australia.

- Berg, E.v.d., Berg, R.A.v.d. (1990). Using the laboratory to teach the concept of projectile motion. *The Australian Science Teachers Journal*, 36, 4, 78-81.
- Bosch, G. Lesmateriaal over krachten. V.U., Natuurkunde-Didactiek
- Boud, D., Dunn, D., Hegarty-Hazel, E. (1986). *Teaching in Laboratories*. Guildford (UK): SRHE & NFER-Nelson.
- Bryce, T.G.K., & Robertson, I.J. (1985). What can they do? A review of practical assessment in science. *Studies in Science Education*, 12, 1-24.
- Clement, J., Brown, D. Zietsman, A. (1989). Not all preconceptions are misconceptions: finding "anchoring conceptions" for *International Journal of Science Education*, 11, 5, 554-565.
- Doyle, W. (1985). Classroom organization and management. In: M.C. Wittrock, *Handbook of Research on Teaching, Third Edition*. New York: Macmillan.
- Driver, R., Oldham, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13, 105-122.
- Fuhrman, M. (1978). *Development of a laboratory structure and task analysis inventory and an analysis of selected chemistry curricula*. Unpublished master's thesis, University of Iowa.
- Garretts, R.M., Roberts, I.F. (1982). Demonstration versus small group practical work in science education. A critical review of studies since 1900. *Studies in Science Education*, 9, 109-146.
- Hewitt, P. (1987). *Conceptual Physics*. Boston: Little, Brown and Company.
- Hofstein, A., & Lunetta, V.N. (1982). The role of the laboratory in science teaching: Neglected aspects of research. *Review of Educational Research*, 52(2), 201-217.
- Kyle, W.C., e.a. (1982). Assessing and analyzing behavior strategies of instructors in college science laboratories. *Journal of Research in Science Teaching*, 17(2), 131-137.
- Licht, P. (1990). De beproeving van een onderwijsstrategie voor de ontwikkeling van kernbegrippen in de elektriciteitsleer. In: F.L.Gravenberch, P.Licht, A.E. van der Valk, *Het project Bovenbouw Natuurkunde I, een terugblik op de periode augustus 1986 - augustus 1989*, 42-54, SLO, Enschede.
- Liem, T. (1980). *Invitations to Inquiry*. Boston: Ginn and Company.
- Minstrell, J. (1982). Explaining the at rest condition of an object. *The Physics Teacher*, January 1982, 10-14.
- Osborne, R., & Freyberg, P. (1985). *Learning in Science The Implications of Children's Science*. London: Heinemann.
- Osborne, R., & Wittrock, M. (1985). The generative learning model and its implications for science education. *Studies in Science Education*, 12, 59-87.
- Reif, F., & St. John, M. (1979). Teaching physicists' thinking skills in the laboratory. *American Journal of Physics*, 47, 11, 950-957.
- Sanford, J.P. (1987). Management of science classroom tasks and effects on students' learning opportunities. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(3), 249-265.
- Tamir, P. & Lunetta, V.N. (1981). Inquiry-related tasks in high school science laboratory handbooks. *Science Education*, 65(5), 477-484.
- Vries, L. de (1958, 1960). *The Book of Experiments, The Second Book of Experiments, The Third Book of Experiments*. London: Murray.
- White, R., Gunstone, R. (1989). Metalearning and conceptual change. *International Journal of Science Education*, 11, 5, 577-586

Bijlage: De cognitief conflict demonstratie stapsgewijs

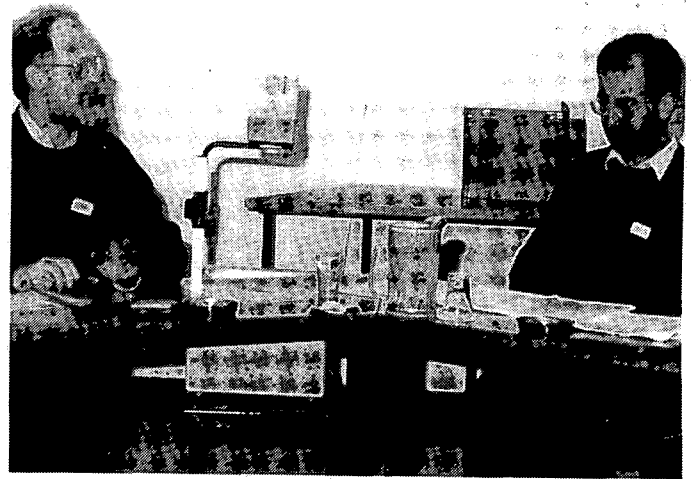
1. Introduceer het probleem: De docent introduceert het probleem of noemt het onderwerp, bijvoorbeeld: *Is er een verschil in de manier waarop zware en lichte voorwerpen vallen ?* In onze (indonesische) ervaring zijn veel docenten geneigd te beginnen met: *Vandaag ga ik bewijzen dat....* Op die manier is de demonstratie al niet leuk meer *en* zal geen cognitief conflict ontstaan. De leerling moet gedwongen worden eerst zijn/haar eigen voorspellingen te doen.
 2. Vertaal de vraag in een experiment: *Hoe kunnen we antwoord vinden op deze vraag ?* Voor eenvoudige vragen als die boven hebben leerlingen zeker wel suggesties. Ze kunnen bijvoorbeeld suggereren om een grote en kleine steen tegelijk en van dezelfde hoogte te laten vallen en te zien welke het eerst op de vloer komt.
 3. Voorspellen (een individuele activiteit!): Leerlingen worden gevraagd om het resultaat van de proef te voorspellen en daar een reden voor te geven. Om alle leerlingen te dwingen mee te denken (i.p.v. alleen de slimste of snelste leerling), worden leerlingen geïnstrueerd hun voorspelling + reden even op een stukje papier te schrijven (of een werkblad). Bijvoorbeeld: *Denk na over de volgende vraag en schrijf het antwoord in je schrift: "Welke steen zal de vloer eerder bereiken, de kleine of de grote en waarom?".* Een extra voordeel van het individueel voorspellen is dat elke leerling gevraagd kan worden naar het antwoord (in stap 4). Overigens, veel leerlingen zullen voorspellen dat het zwaarste voorwerp het eerste de vloer raakt.
 4. Discussie van voorspellingen: Op een *neutrale* manier (zonder te laten merken welke voorspellingen goed of fout zijn) vraagt de docent enkele leerlingen hun antwoord voor te lezen en dan ontwikkelt zich een discussie tussen leerlingen met verschillende ideeën.
- Als een echte goochelaar probeert de docent te werken naar een climax: het experiment.
5. Het experiment: Het experiment wordt gedaan. Observaties worden gevraagd van leerlingen. Als ze het niet eens zijn over wat ze zien, dan wordt het experiment herhaald, desnoods in een iets andere vorm. Tenslotte worden de pure observaties (nog zonder interpretatie) op het bord gezet. Bijvoorbeeld: *De zware en lichte steen kwamen tegelijk op de vloer aan.* Dit is het moment waarop cognitief conflict verwacht wordt bij leerlingen met een foute voorspelling.
 6. Bespreek de resultaten in discussie met leerlingen: *Hoe verklaar je dit resultaat?.* De discussie kan leiden tot nieuwe experimenten: *Zou het resultaat hetzelfde zijn als we een groot en klein krijtje gebruikt hadden ? Of als we een steen met een vel papier vergeleken ?*
 7. Concludeer: De discussie van 6. kan wat chaotisch geweest zijn met diverse verklaringen en ideeën. Daarom is het belangrijk de eindconclusie duidelijk op te schrijven met verklaring.

8. Follow-up in de vorm van vragen/sommen/oefeningen of verdere experimenten. Vragen kunnen komen uit boeken als *Conceptual Physics* van Hewitt (5th edition 1987), uit misconceptie tests, of goede leerboeken.

Metten aan bewegingen: Experimenten met inter-actieve video

Werkgroep 6

B.Landheer & P.Molenaar



In het kader van het project *Realiteitsgericht natuurkundeonderwijs met interactieve beeldplaat en computerondersteund practicum* van de Universiteit van Amsterdam en de University of Nebraska-Lincoln en Kansas State University is voor het mechanica-onderwijs practicum-materiaal ontwikkeld.

De doelstelling van het project is te onderzoeken:

- Op welke wijze praktijksituaties opgenomen op beeldplaat in de les gebracht kunnen worden.
- Hoe leerlingen leren fysische principes te hanteren in realistische situaties.
- In hoeverre het gebruik van interactieve video haalbaar is in de schoolpraktijk
- Welke voordelen er zijn bij het gebruik van de beeldplaat.

Opnames met behulp van een beeldplaat zijn gekozen omdat:

1. *Met een beeldplaat is een open leeromgeving te realiseren.*

Er wordt interactief gewerkt waarbij de leerling tijdens het meten zelf allerlei beslissingen neemt. De leerling laat een videofragment afspelen; beslist dan van welke punten de positie gemeten gaat worden; ijkt de afstanden en de tijd; voert de metingen uit en werkt ze uit.

2. *De praktijksituatie is onder handbereik.*

Het uitmeten van een sprong die een zwemmer maakt motiveert meer dan de beweging van een vallend kogeltje.

3. *Met een beeldplaat kunnen gevaarlijke situaties gemeten worden.*

Bijvoorbeeld botsingsproeven met auto's, effecten van valhelmen en autogordels.

4. *Aan niet uit te voeren proeven kan gemeten worden.*

Bijvoorbeeld waarnemingen in een kunstmaan; beweging van een raket, banen van elementaire deeltjes. Maar ook proeven met een fiets zijn in de klas niet uit te voeren en buitenproeven met fietsen leveren meestal slechte meetresultaten met fouten tot 50%. Bovendien kunnen fietsproeven gevaarlijk zijn om uit te voeren. Met de beeldplaat

kan een beweging van een fiets door een leerling volledig geanalyseerd worden.

Met de software die ontwikkeld is aan de Universiteit van Amsterdam is het mogelijk situaties die op de beeldplaat zijn opgenomen uit te meten en te verwerken.

Aan het programma zijn de volgende eisen gesteld:

- Het programma moet snel kunnen werken (muisgestuurd).
- De leerling moet ijkingen kunnen uitvoeren en moet stukjes video meerdere keren kunnen afspelen en uitmeten.
- Van de metingen moeten meetfiles gemaakt kunnen worden
- Uitwerking van de metingen moet men in Coach kunnen uitvoeren en kunnen interpreteren.

De computerproeven en het instructiemateriaal

In de maanden augustus t/m oktober 1991 werd een serie computerondersteunde lessen gegeven in een 4-VWO en een 4-HAVO klas van het Fons Vitae Lyceum te Amsterdam, aan de hand van de lessenserie "BEWEGINGEN 1" van J. Dekker. Daartoe hebben wij instructiemateriaal ontwikkeld voor

- VIDEO: drie proeven met een videobeeldplaat gekoppeld aan een computer;
- COACH: vier proeven waarbij experimentele opstellingen (een luchtkussenbaan, of een varende bootje in een bak) gekoppeld waren aan een computer;
- MODEL: vier proeven waarbij de computer, aan de hand van een model, berekeningen uitvoert over een bewegend voorwerp (zonder gebruik van verdere apparatuur);
- twee meer traditionele proeven (tijdtikker, karretje) zonder gebruik van een computer.

Het instructiemateriaal is bijeengebracht in een boekje "Metten aan bewegingen" van ruim 100 bladzijden, verkrijgbaar bij de afdeling Didactiek Natuurkunde van de

Universiteit van Amsterdam, Nieuwe Achtergracht 170;
tel. 020 - 5255860.

De proeven zijn ingedeeld in vier "rondes" over de volgende onderwerpen:

1. Inleiding: de begrippen afstand, tijd, gemiddelde en momentane snelheid;
2. Krachten die een beweging belemmeren (water- en luchtweerstand); eindsnelheid;
3. Versnelling, kracht, massa; arbeid, (bewegings)energie;
4. Stoot en impuls.

Omdat we de beschikking hadden over ten hoogste drie beeldplaatopstellingen was het niet mogelijk alle leerlingen gelijktijdig dezelfde proef te laten doen. Elke ronde duurde dus 3 of 4 lesuren, waarin de leerlingen, in tweetallen, achtereenvolgens alle proeven van die ronde uitvoerden.

Het was de bedoeling dat elk van de drie soorten computerproeven A, B, C in elk van de vier rondes vertegenwoordigd zou zijn. Maar voor de tweede ronde (weerstandskrachten) bleek het niet mogelijk om aansluitend beeldplaatmateriaal te vinden.

Bij onze presentatie op de conferentie ging het vooral om de ervaringen met de videobeeldplaat omdat dat immers een geheel nieuw leermiddel is. Bij het werken met de beeldplaat is gebruik gemaakt van het door M. Wijnen ontwikkelde programma VIDEOMEET waarmee de leerling enerzijds de beeldplaat via de computer bestuurt (om het gewenste filmfragment op het scherm van de monitor te krijgen), en anderzijds waarnemingen aan de beelden kan verrichten (door de computer kruisjes te laten zetten op de plaatsen van de meetpunten). Die waarnemingen kunnen in het geheugen van de computer worden opgeslagen, en verder worden verwerkt met behulp van het programma COACH.

De volgende videoproeven werden door de leerlingen uitgevoerd:

- (a) *ronde 1: twee hardlopers.* Een filmpje over twee hardlopers op een sportveld die langs dezelfde rechte lijn lopen. Eén houdt daarbij een vrijwel constante snelheid aan, de ander start vanuit rust en loopt met een vrijwel constante versnelling. Leerlingen registreren beide bewegingen, laten ze door de computer in een grafiek weergeven, en beantwoorden vragen over de snelheden van de lopers.
- (b) *ronde 3: een salto van een zwemster.* Leerlingen doen metingen aan het middel en aan de voeten van een zwemster die een salto maakt vanaf een duikplank. Ze laten die metingen door de computer in een grafiek weergeven en analyseren en bepalen zo de versnelling van de zwaartekracht. Dat laatste uit de helling van de v , t -grafiek voor de verticale beweging van het middel van de zwemster; de verticale beweging van de voeten is (door de rotatie) te onregelmatig om een duidelijke uitkomst te geven. Daarmee wordt dus tevens het onderscheid geïllustreerd tussen de beweging van het zwaartepunt van een lichaam en die van een willekeurig ander punt.

- (c) *ronde 4: het wegslaan van een bal.* Een honkballer slaat een bal weg; leerlingen meten de snelheden van de bal voor en na de botsing en bepalen hieruit (bij gegeven massa van de bal) de stoot op de bal. Vervolgens trachten ze de tijdsduur van de botsing te bepalen door het aantal beeldjes te tellen waarbij er contact is tussen knuppel en bal. Omdat dit maar op één beeldje (van de 445 per seconde) het geval is, levert dit alleen een geschatte bovengrens aan de op de bal werkende kracht kan worden berekend.

Het voor het computerpracticum ontwikkelde instructiemateriaal was in de eerste paar rondes tamelijk gedetailleerd. Dit om te voorkomen dat sommige leerlingen (bv. leerlingen zonder computerervaring, of zwakke leerlingen) zouden afhaken doordat ze niet weten wat ze moeten doen. In de latere rondes van de cursus werd het instructiemateriaal steeds summierder, waardoor het initiatief meer aan de leerlingen werd gelaten.

Ervaringen in de klas

Bij het gebruik van het lesmateriaal in de klas kwamen de volgende problemen naar voren:

1. Leerlingen waren niet gewend te werken aan de hand van geschreven instructies. In het begin was er een duidelijke tegenzin tegen het lezen ervan. Leerlingen gaven er de voorkeur aan achter de computer te gaan zitten, op willekeurige knoppen te drukken, en te zien wat er dan gebeurde. In de loop van de cursus werd dit geleidelijk veel beter omdat het de leerlingen duidelijk werd dat het lezen van de instructies veel tijd en frustraties bespaarde.
2. Het omgaan met de computer zelf gaf alleen in het begin wat problemen, die snel overwonnen werden.
3. Leerlingen zijn geneigd de computer als alwetend te beschouwen, en begrijpen dan ook niet waarom er bijvoorbeeld vóór het meten een ijking uitgevoerd moet worden.
4. Het werken in tweetallen ging goed. Drie per groepje is te veel; één van de drie doet dan vaak niet echt mee. Gemengde tweetallen (één jongen, één meisje) hebben de beste resultaten, waarschijnlijk omdat de meisjes over het algemeen de instructies nauwkeuriger lezen.
5. Het opstellen van apparatuur (bij de COACH-proeven) kost de leerlingen soms veel tijd.
6. Als leraar ben je tijdens het computerondersteund practicum druk bezig met van de een naar de ander te lopen en leerlingen in het goede spoor te helpen. De verscheidenheid van proeven en problemen maakt dit extra vermoeiend. Ook het voorbereiden van het practicum kost de leraar nogal wat tijd.

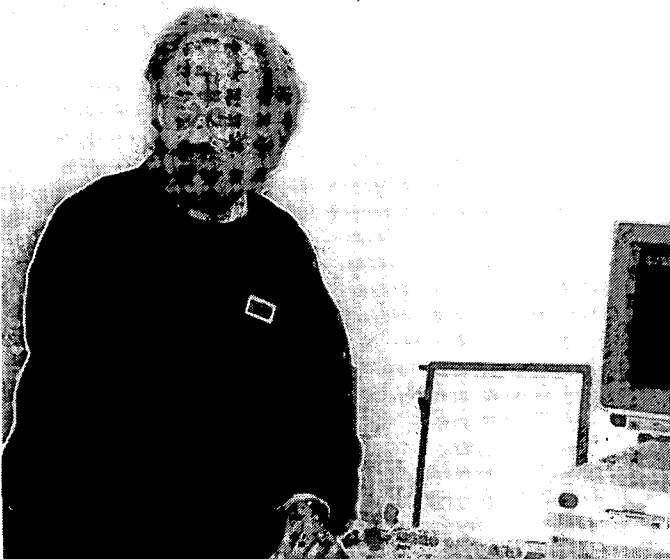
De reacties van de leerlingen werden geïnventariseerd door L. van Rens aan de hand van vragenlijsten voor rondes 1 en 2 die door 12 resp. 17 van de 4-VWO, en 17 resp. 24 van de 4-HAVO leerlingen werden ingevuld. Die reacties waren over het algemeen heel positief:

- (a) Alle 4-VWO leerlingen en ruim 80% van de 4 HAVO-leerlingen vonden het werken met een beeldplaat leuk tot zeer leuk.
- (b) De waardering voor de computer-gekoppelde COACH-proeven was vrijwel even hoog.
- (c) De opdrachten met het programma Modelomgeving werden door de 4-VWO leerlingen iets lager gewaardeerd (76% leuk tot zeer leuk) en door de 4-HAVO leerlingen zeer laag (56% niet leuk). Blijkbaar ligt het abstractieniveau van dit soort opdrachten voor veel leerlingen nog te hoog.

Het instructiemateriaal van de eerste twee rondes werd door verreweg de meeste leerlingen duidelijk tot zeer duidelijk gevonden. Enkele leerlingen klaagden over langdradigheid en het te weinig een beroep doen op inventiviteit van leerlingen.

De prestaties van de 4-VWO leerlingen zijn in kaart gebracht met behulp van vijf door J. Dekker ontwikkelde toetsen die ook het vorige jaar, toen er nog geen computerproeven werden aangeboden, gebruikt waren (en na gebruik niet aan de leerlingen teruggegeven!). Voor elk van de toetsen bleek het gemiddelde cijfer dit jaar 0,2 tot 1,0 punt hoger te liggen dan vorig jaar.

Concluderend kunnen we zeggen dat het gebruik van de computer + videobeeldplaat een duidelijk motiverend effect heeft op leerlingen. Ongetwijfeld heeft dat te maken met het realiteitsgehalte van de verrichte metingen. Bij gebruik van de beeldplaat zijn in het begin gedetailleerde instructies wenselijk; maar als leerlingen eenmaal aan het gebruik gewend zijn, zijn meer open opdrachten aan te bevelen. Hoewel op het ogenblik de kosten van het gebruik van videobeeldplaat nog te hoog zijn om gebruik in de klas op grote schaal te verwezenlijken, is er alle reden om aan te nemen dat die kosten binnen enkele jaren geen beletsel meer zullen zijn. Dan moet het ook mogelijk zijn om met leerlingen zelf video-opnamen te maken, bijvoorbeeld op het sportveld, en die bewegingen met behulp van de computer te analyseren.



Nieuwe programma's voor fysische informatica: rekenvel en modelomgeving

Werkgroep 7

C. Bos, C. Mulder & K. Neuvel



1. Fysische informatica 2^e ronde

Om leerlingen in 5- en 6-vwo op praktische wijze kennis te laten maken met de leerstof voor fysische informatica 2^e ronde, Computertoepassingen in de natuurkunde, is computer ondersteund practicum een belangrijk element. In het lesmateriaal dat Didaktiek Natuurkunde heeft ontwikkeld zijn naast het meten met de computer ook het verwerken van meetgegevens, het er echt mee rekenen en het doen van modelberekeningen belangrijke onderwerpen. Voor het meten aan proefopstellingen is IP-COACH 3.0 al uitermate geschikt. Het is afgestemd op onderwijs-situaties, het is flexibel en kent diverse subprogramma's voor allerlei meetmethoden. Voor dit type metingen hebben we de UIA-kaart, sensoren en eventueel versterkers of filters nodig. Voor het verwerken en het rekenen met de computer zullen we ook vaak het computerlokaal willen gebruiken. Voor dit type off-line toepassingen hebben we IP-COACH uitgebreid met de programma's ModelOmgeving en Rekenvel.

Interessant is te weten dat deze programma's ontwikkeld zijn samen met het PRINT-VO scheikunde project: Chemisch rekenen. Naar verwacht kan worden zal de scheikundedocent in de toekomst de programma's ook regelmatig gebruiken. Als leerlingen zowel bij scheikunde als bij natuurkunde de programma's ook gebruiken bij andere onderwerpen dan fysische informatica, zal dit ongetwijfeld tijdswinst opleveren.

In fysische informatica 2^e ronde is kennismaking met de methoden van softwarematige verwerking en berekening van meetgegevens en het opstellen van numerieke modellen reeds voldoende voor het examenniveau. Toch hebben we gemeend meer recht te moeten doen aan de fysische werkwijze. We introduceren dit in het lesmateriaal via probleemoplossen aan de hand van hypothesetoetsing. Als thematiek is het fysisch onderzoek gekozen. Uitgaande van bestaande theorie proberen leerlingen diverse problemen op te lossen. In vele gevallen betekent dit een hypo-

these maken en aan de hand van een model verklaringen vinden, die met experimenten al dan niet bevestigd worden. Voor deze opzet leent de uitgebreide IP-COACH zich zeer. Tijdens de Woudschoten conferentie werkten we enkele voorbeelden van deze werkwijze uit. Ook is het interessant om de parrallelizing van Cor de Beurs en Huib van Bergen hierop na te lezen. In onze voorbeelden zullen we ook gebruik maken van het programma Kinegraaf, de Signal Amplifier (meetversterker) en de nieuw ontwikkelde Filter-box.

2. Een voorbeeld met Rekenvel

Met het programma Rekenvel beschikt u over een krachtig programma om meetresultaten te bewerken. U kunt:

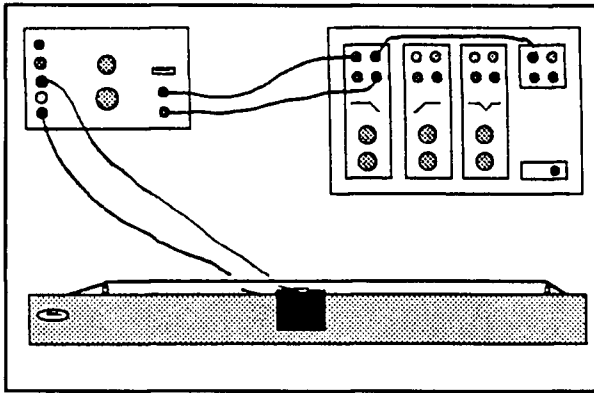
- Rekenkundige bewerkingen en functies uitvoeren op een kolom resultaten van een meting.
- Statistische gegevens berekenen over een kolom resultaten
- Bestanden die onafhankelijk van elkaar tot stand zijn gekomen geheel of gedeeltelijk samenvoegen.
- Handmatig één of meer waarden wijzigen in een kolom meetgegevens.

HULP	TABEL	KWADJ	DIAGRAM	BEHEER	TERUG
1	0,0000	0,67	Instelling	0,0431	
2	0,0982	0,67	Formule	0,0431	
3	0,1994	0,67	Kopieer	0,0431	
4	0,3005	0,67	Vervissel	0,0431	
5	0,3987	0,67	Mis	0,0471	
6	0,4999	0,6706	0,7176	0,0471	
7	0,6011	0,6706	0,7137	0,0431	
8	0,7022	0,6706	0,7137	0,0431	
9	0,8004	0,6706	0,7137	0,0431	
10	0,8986	0,6706	0,7098	0,0392	
11	0,9998	0,6667	0,7059	0,0392	
12	1,1009	0,6667	0,7059	0,0392	
↓	1,2021	0,6667	0,7020	0,0353	
Index	k1	k2	k3	k4	k5
Grootheid	t	spanning	spanning	spanning	
Eenheid	ms	volt	volt	volt	
Bijschrijf				Vershil	

Figuur 1: Rekenvel in tabel-mode

Onderzoek: de basgitaarsnaar

De mogelijkheden van Rekenvel worden gedemonstreerd aan de hand van een onderzoek naar het gedrag van een basgitaarsnaar. Daarbij is gebruik gemaakt van een op een houten balk gemonteerde (spanbare) basgitaarsnaar voorzien van een bijbehorende opnemer die over de balk verplaatsbaar is. De opnemer vertaalt de trilling van de stalen snaar in een inductiespanning.



Figuur 2: Schematische weergave van de opstelling.

De hypothese

Een dergelijke opstelling leent zich goed voor eigen onderzoek.

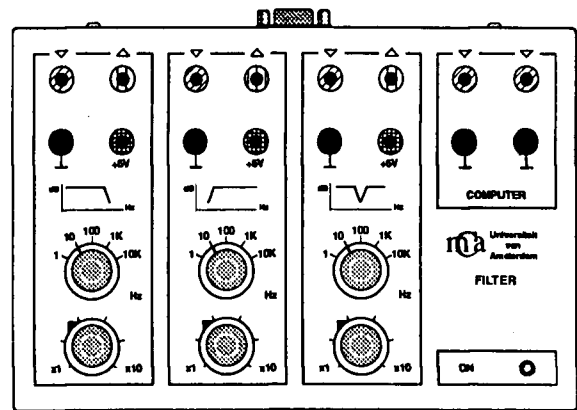
Als hypothese voor een onderzoek hebben we de volgende gekozen: Als een snaar in het midden uit de evenwichtsstand wordt getrokken en losgelaten (geplukt), zullen naast de 1ste harmonische (grondtoon) vooral de 3de, 5de,.. harmonischen aanwezig zijn; voor deze trillingstoestanden is in het midden van de snaar een buik.

Voor dit onderzoek zullen we zowel ongefilterde als gefilterde signalen bekijken. De signalen van de opnemer zijn te zwak voor rechtstreekse registratie via de UIA-kaart. Daarnaast zijn het wisselspanningen. Met de Signal Amplifier wordt het signaal versterkt (20x) en van een offset voorzien. De grondfrequentie van de trillende basgitaar is ongeveer 30 Hz.

De Filter-box

De Filter-box is ontworpen voor de tweede ronde Fysische Informatica voor het onderwerp signaal conditionering, maar is heel algemeen toepasbaar bij onderzoek. Hij bevat drie filters, een laag- en een hoogdoorlaatfilter en een bandspfilter. Een banddoorlaatfilter kan gevormd worden door combinatie van de twee eerstgenoemde filters. De box is voorzien van ingangen naar de computer en kan rechtstreeks aan de 9-pins connector van de UIA-kaart worden gekoppeld.

De afsnijfrequenties van de filters zijn instelbaar met een decade schakelaar (1 Hz .. 10 kHz) en een continu schakelaar (1x .. 10x). De Filter-box heeft een aparte voeding via een netadapter.



Figuur 3: De Filter-box.

Combineren van bestanden

In Multiscope worden per kanaal 2000 meetpunten in de tijdsduur van de meting verzameld. Bij onderzoek naar geluidssignalen via een meting in Multiscope zal men een zo klein mogelijke tijdsduur willen instellen. Met de gebruikte computer bleek het niet mogelijk een meting op twee kanalen uit te voeren in een tijdsduur van 200 ms. Op 2 kanalen meten in een tijdsduur van 500 ms was wel mogelijk. In het laatste geval kun je het oorspronkelijke en het gefilterde signaal gelijktijdig meten. Je hebt dan echter een meting die bij een frequentie van ca 30 Hz maar 8 meetpunten per periode bevat. Voor onderzoek naar de hogere harmonischen is dat erg weinig. Door gebruik te maken van de mogelijkheid van Rekenvel om bestanden samen te voegen kun je ook 2 afzonderlijke metingen doen in een tijdsduur van 200 ms. Voorwaarde daarbij is dat het mogelijk is de snaar enigszins reproduceerbaar te plukken. In Rekenvel kun je beide bestanden ophalen en één of beide metingen verschuiven om te synchroniseren. (Bijvoorbeeld door $t = 0$ in de eerste piek te leggen.)

In fig.4 zijn de bestanden afgebeeld die ontstaan bij meting van een ongefilterd signaal (k2) en een met een laagdoorlaatfilter, afsnijfrequentie 100 Hz, gefilterd signaal. (k3). Door voor kolom 4 de formule $k3-k2$ in te voeren wordt het verschil bepaald.

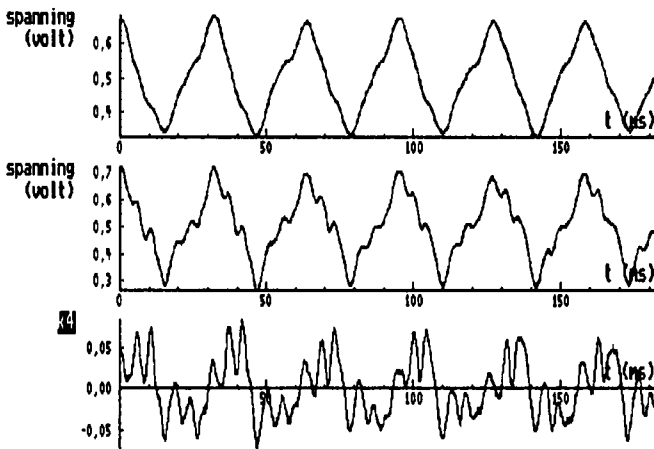
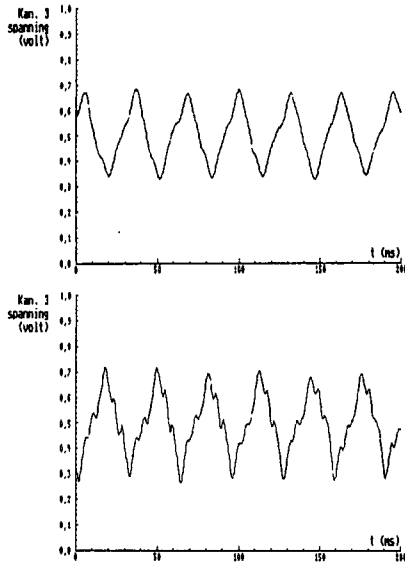
Statistische functies

Via de optie Statistiek van Rekenvel komen snel een aantal statistische gegevens van de kolom meetwaarden in beeld. Door bijvoorbeeld van de kolom de gemiddelde waarde af te trekken kan men de offset van het signaal compenseren.

Bewerkingen in Rekenvel

De kracht van Rekenvel is het manipuleren van kolommen met gegevens. Rekenvel is ontworpen om tegelijk bewerkingen uit te voeren op alle waarden in één kolom. Bewerkingen per cel zijn niet mogelijk. Wel is het mogelijk de inhoud van een cel te veranderen of een lege kolom te vullen met waarden door getallen in te typen. Daarnaast

zijn de bewerkingen Δ en Σ ingevoerd waarmee de verschillen van opeenvolgende waarden in een kolom of de som over alle voorgaande waarden in een kolom kunnen worden berekend.



Figuur 4: Rekenvel in grafiek-mode. Voorbeeld van samengevoegde bestanden. De derde grafiek is het verschil van de twee andere grafieken (k3-k2).

maXimum	182,301	0,6824	0,7176	0,0823
miNimum	0,0000	0,3294	0,2667	-0,0706
n	1824	1824	1824	1824
\bar{x}	91,1500	0,4981	0,4991	0,0011
Σx	166258	908,463	910,392	1,9289
Σx^2	2,0E+07	471,098	477,793	2,0773
$\sigma(n)$	52,6543	0,1011	0,1133	0,0337
$\sigma(n-1)$	52,6688	0,1011	0,1133	0,0337
Index	k1	k2	k3	k4
Grootheid	t	spanning	spanning	spanning
Eenheid	ms	volt	volt	V
Bijschri				Vershil

Fig.5 Statistische gegevens van de in fig.4 afgebeelde grafieken

Eerst is in Verwerking met behulp van Functie-fit de fase, amplitudo en periode bepaald van de sinus die zo goed mogelijk past op het gefilterde signaal, de grondtoon. Daarnaast is een tabel gevormd van de maxima van de grafiek die het verschil vormt van de twee geregistreerde signalen.

In Rekenvel kan de grondtoon van het gefilterde signaal worden afgetrokken. Ook kan van de tabel met maxima de gemiddelde intervalwaarde bepaald worden met de optie statistiek.

HULP	TABEL	KOLOM	DIAGRAM	BEI
spanning (volt)		0,65		
		Instelling		
		Formule		
√ k1	:=			
√ k2	:=			
√ k3	:=	k2-0,14*sin(0,20*t+1,47)-0,501		
k4	:=			
k5	:=			
Klad	:=			

HULP	TABEL	KOLOM	
maXimum	180,298	0,0823	9,0958
miNimum	5,9004	-0,0196	3,6990
n	29	29	28
\bar{x}	93,5617	0,0318	6,2285
Σx	2713,29	0,9216	174,398
Σx^2	333895	0,0599	1176,07
$\sigma(n)$	52,5342	0,0325	1,7913
$\sigma(n-1)$	53,4641	0,0330	1,8241
Index	k1	k2	k3
Grootheid	t	spanning	Δt
Eenheid	ms	volt	ms
Bijschri		Vershil	periode

RKN>KOLOM

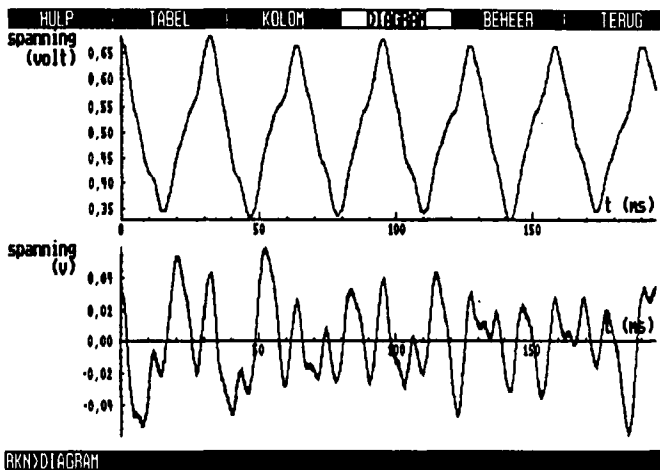
Figuur 6: Formules invoeren in Rekenvel (boven) en Statistiek van een tabel met maxima (rechts)

De laatste term in de vergelijking voor k3 is bepaald via de optie statistiek om het signaal een gemiddelde waarde van nul te geven.

Conclusies

Uit de bepaling van de grondtoon volgt als periode 31,6 ms (32 Hz). Filteren met 100 Hz afsnijfrequentie geeft een signaal waarin de 4de of hogere harmonischen worden onderdrukt. Het verschil van het ongefilterde signaal met het gefilterde signaal laat zien dat de 5de harmonische sterker aanwezig is dan de 4de. Dit wordt ondersteund door het gemiddelde tijdsinterval tussen de maxima. Dit bedraagt 6,23 ms (verhouding 1 : 5,06).

Door de grondtoon van het gefilterde signaal af te trekken blijkt dat de derde harmonische sterker aanwezig is dan de tweede. Zie fig.7. De resultaten ondersteunen dus de hypothese.



Figuur 7: Gefilterd signaal min de grondtoon (onderste grafiek).

3. Een voorbeeld met Modelomgeving

Modelomgeving is ontworpen om rekenmodellen met bijbehorende startwaarden op te stellen. Hiertoe staan u een eenvoudige tekstverwerker en een uitgebreide programmeertaal ter beschikking. Maximaal vijf variabelen kunnen worden geselecteerd om in diagrammen te worden weergegeven.

Modelomgeving kan gebruikt worden om rekenresultaten in het diagramvenster te vergelijken met grafieken die van een meting afkomstig zijn. Modelomgeving kan ook worden gebruikt voor simulaties van processen en om wiskundige functies grafisch weer te geven. Hieronder wordt een voorbeeld gegeven van de eerste functie.

De tweede wet van Newton

We beschikken over een karretje dat is uitgerust met een motortje met propeller. Op een vlakke gladde tafel is de stuwkracht van de propeller voldoende om een versnelde beweging te veroorzaken.

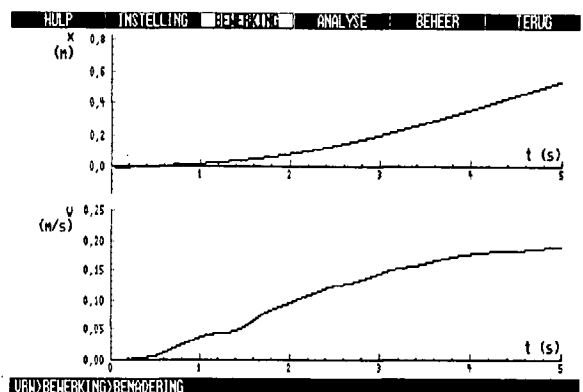
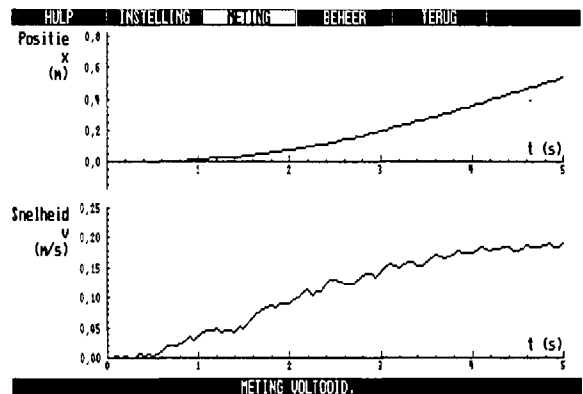
Aan het karretje is de zender bevestigd van de UltraSone Plaatsbepalingset (USP). Met het bijbehorende programma Kinograaf kan gelijktijdig positie en snelheid van het karretje worden geregistreerd. Eventueel kan eerst een ijking worden uitgevoerd ter bepaling van de positie van het vaste deel, de ontvanger, en de geluidssnelheid.

Uitvoering van de proef

Met behulp van een veerunster is de stuwkracht van de propeller bepaald. Deze methode is grof. Resultaat: $F_p = 0,05 \text{ N}$. De massa van het karretje inclusief propeller en zender bedraagt $0,175 \text{ kg}$.

Eerst is de propeller aanzet. Daarna is de inlezing in Kinograaf gestart met het indrukken van de spatiebalk. Daarop is het karretje losgelaten. Het oorspronkelijke resultaat is de meting in Fig. 8 links. De meting is bewerkt. In Verwerking is met Benadering > Spline het onregelmatige verloop van de grafiek weggehaald. Daarbij worden de grafieken van 100 meetpunten (standaard

met Kinograaf met 20 meetpunten per seconde) vervangen door grafieken van elk 2000 punten.



Figuur 8: Meting van positie en snelheid van een karretje met propeller met behulp van Kinograaf en de USP (boven). De meting is bewerkt (beneden).

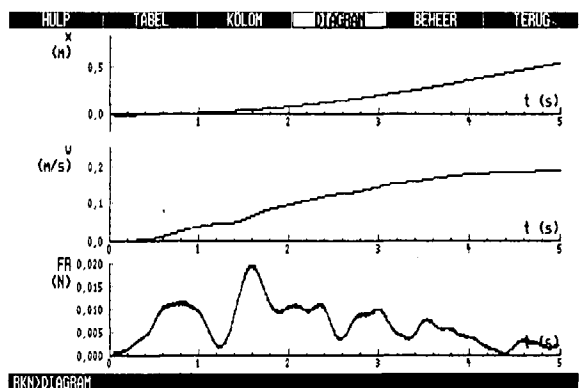
Verwerking in Rekenvel

Met behulp van Rekenvel kan de resulterende kracht op het karretje worden berekend:

$$k4 := (\Delta v / \Delta t) * 0,175$$

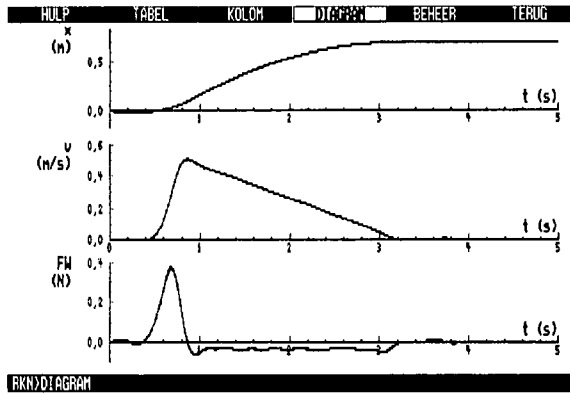
Het resultaat is in Fig. 9 afgebeeld.

Om de wrijvingskracht te bepalen is een vergelijkbare meting uitgevoerd met de propeller uit waarbij het karretje een zetje heeft gekregen en kan uitrijden.



Figuur 9: De resulterende kracht

Van deze meting is slechts het gedeelte van 1,0 s tot 3,0 s gebruikt om de gemiddelde wrijvingskracht te bepalen. De functie statistiek van Rekenvel leent zich daar uitstekend voor. Resultaat $F_w = 0,0373$ N.



maXimum	3,0175	0,6863	0,4609	-0,0296
miNimum	1,0375	0,1773	0,0386	-0,0493
n	801	801	801	801
\bar{x}	2,0275	0,5033	0,2548	-0,0373
Σx	1624,03	403,129	204,095	-29,9135
Σx^2	3555,09	220,917	63,6639	1,1326
$\sigma(n)$	0,5723	0,1500	0,1207	0,0044
$\sigma(n-1)$	0,5727	0,1501	0,1207	0,0044
Index	k1	k2	k3	k4
Grootheid	t	x	v	Fw
Eenheid	s	m	m/s	N
Bijschrij				

Figuur 10: Uitrusten van het karretje en bepaling van de gemiddelde wrijvingskracht.

In Rekenvel kan daarna de gemiddelde wrijvingskracht van de resulterende kracht afgetrokken worden om de stuwkracht F_s van de propeller te bepalen.

Vergelijking van experiment en model in Model-omgeving

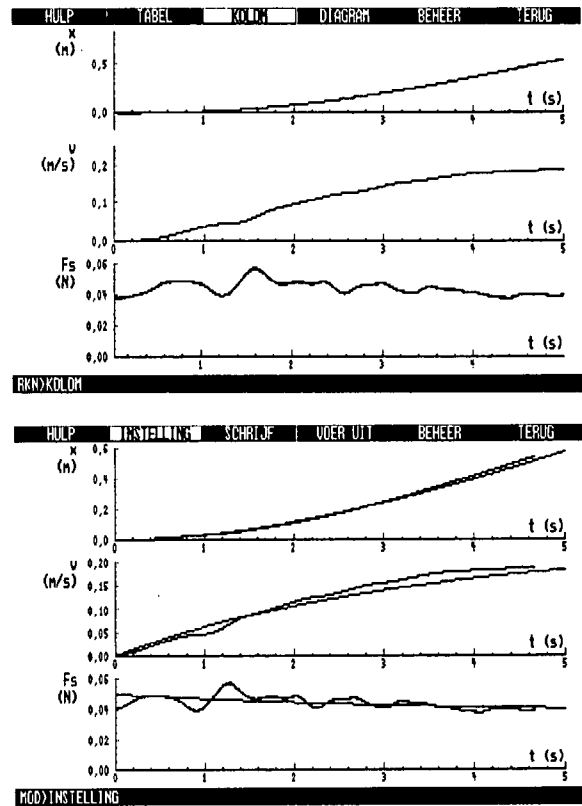
In Model-omgeving is een model gemaakt voor de beweging van de kar. Daarbij is verondersteld dat de stuwkracht van de propeller afneemt met toenemende snelheid van de kar. Voor de stuwkracht is de volgende vergelijking in het model opgenomen:

$$F_s = 0,05 * (1 - c*v)^p$$

Voor p is de waarde 2 genomen uitgaande van een kwadratische afname. Uit de geschatte maximale snelheid (0,25 m/s) is de waarde van de parameter c bepaald op 0,55. Het model ziet er dan als volgt uit:

Model	Startwaarden
t = t + Δt	Δt = 0,01
F _s = 0,05 * (w - c*v) ^p	t = 0
F = F _w + F _s	F _w = -0,0373
a = F / m	v = 0
Δv = a * Δt	w = 1
v = v + Δv	m = 0,175
Δx = v * Δt	c = 0,55
x = x + Δx	p = 2

De resultaten van dit model kunnen worden vergeleken met de meting. Daarbij is het mogelijk de Achtergrond (meetresultaten) in horizontale richting te verschuiven. De meting is naar links verschoven om het loslaten van het karretje op t = 0 te brengen.



Figuur 11: Resultaten van het model en de meting. Links de meting, rechts de meting met de modelresultaten waarbij de meting in horizontale richting is verschoven.

Conclusies

Het model geeft een redelijk beeld van de werkelijkheid, verder onderzoek aan het model voor de stuwkracht is mogelijk door aanpassing van de parameters c en p of aanpassen van het model zelf.

Computergebruik en natuurkunde: probleemoplossen per computer

Werkgroep 8

F. Vogelzang & J. Heijnen



De Didactische werkplaats voor Informatietechnologie (DIWIT), onderdeel van het Instituut voor Lerarenopleiding, Onderwijsontwikkeling en Studievoordigheden van de Rijksuniversiteit te Utrecht, houdt zich bezig met contractresearch, courseware-ontwikkeling en nascholing op gebied van Informatie Technologie

De combinatie onderzoek en ontwikkeling is een zeer vruchtbare. Zo konden de resultaten van een twee jaar durend onderzoek naar het gebruik van de computer in de klas worden verwerkt in een tweetal projecten, waarin DIWIT samen met PRINT, uitgeverij NIB en enkele buitenlandse firma's, zich bezig houdt met de aanpassing en vertaling van buitenlandse courseware voor de Nederlandse markt. Op de Woudschotenconferentie is in een tweetal workshops een deel van deze courseware gepresenteerd. In het navolgende artikel wordt eerst kort ingegaan op de resultaten van het onderzoek, daarna volgt een beschrijving van de courseware en de mogelijkheden die zij biedt voor het onderwijs.

Het onderzoek: de realiteit van computergebruik in de lespraktijk

Een school voor HAVO-VWO.... Vier docenten: Frans, Engels, aardrijkskunde, geschiedenis..... Weinig tot geen ervaring met computer ondersteund onderwijs..... Eén computer thuis, één computer (met LCD-scherm) in het vaklokaal, een computerlokaal uitgerust met dertien computers.

Deze ingrediënten vormden de basis voor het onderzoek van de DIWIT-research groep naar de mogelijk centrale rol van docenten bij de invoering van de computer in het onderwijs. Gedurende anderhalf jaar (1989-1990) zijn de verrichtingen van de vier docenten, met de hun ter beschikking gestelde computers, nauwkeurig opgetekend. Centrale vraag hierbij was: welke computeractiviteiten onderneemt een docent, binnen en buiten de les, en waarom? Het onderzoek was niet schoolvakgebonden, omdat de vraagstelling zich niet op het inhoudelijk niveau richt-

te, maar op de docent als factor bij het gebruik van de computer.

Na anderhalf jaar onderzoek is gebleken dat het computergebruik van de docenten op één punt sterk overeenkomt. De computer thuis wordt intensief gebruikt voor de aanmaak van onder meer teksten en repetities. Alle betrokken docenten beschouwden dit gebruik van de computer als zinvol en tijdsbesparend. Verder verschilt het computergebruik sterk.

De docent Frans zet de computer veelvuldig in in zijn lessen. Hij gebruikt hem vooral voor remediërende doeleinden en als instrument voor de herhaling van grammatica en vocabulaire. Hij laat individuele of groepjes leerlingen achterin de klas zelfstandig oefenen of gaat met de klas naar het computerlokaal. Werken met de computer vindt hij zinvol: het motiveert de leerlingen en biedt ze goede mogelijkheden zelfstandig te werken.

De docent Engels staakt, na enkele pogingen, zijn gebruik van de computer in de les. Hij is van mening dat de computer weinig toevoegt aan zijn gebruikelijke manier van lesgeven. Verder doet de computer een te grote inbreuk op de orde in de klas.

De docent aardrijkskunde gebruikt de computer in het vaklokaal veelvuldig ter opluistering en illustratie van zijn betoog. Hij kan hem prima inpassen in zijn gebruikelijke manier van lesgeven. Verder gaat hij met klassen het computerlokaal in om met simulatie-programmatuur te oefenen.

De docent geschiedenis ziet wel voordelen van computergebruik: motivatie leerlingen en andere, meer onderzoeksachtige, benadering van geschiedenisonderwijs. Toch gebruikt hij de computer slechts incidenteel, onder meer doordat er voor zijn vak slechts een geringe hoeveelheid software op de markt is.

Een aantal beweegredenen van docenten zijn in het voorgaande al ter sprake gekomen: beschikbare software, motivatie van leerlingen, bedieningsgemak etc. Het sleutelwoord echter was: "aansluiting". Aansluiting bij de

eigen lespraktijk, bij de gebruikte methode, bij de eigen visie op het vak, bij de gebruikelijke presentatie van de stof, bij de organisatie van de les. Veel software vroeg om zoveel aanpassingen en bijstellingen van de gewone routines van de docenten, dat hierdoor grote hindernissen werden opgeworpen.

Alle waargenomen factoren die een rol spelen bij het computergebruik van docenten zijn in twee categorieën (randvoorwaardelijk en docentgebonden) verdeeld en ondergebracht in een model, waarin ook hun onderlinge invloed tot uitdrukking komt.

Randvoorwaardelijke factoren zijn belangrijk bij de invoering van de computer. Docenten moeten over voldoende hard- en software kunnen beschikken. Een computer thuis lijkt daarbij van belang: het helpt docenten de drempel over en stelt ze in staat thuis hun lessen voor te bereiden. Verder moet het schoolbeleid docenten steunen bij hun computergebruik: het aanstellen van een technisch onderwijsassistent kan docenten een goede steun in de rug bieden.

De docentgebonden factoren zijn in twee groepen verdeeld: opvattingen en vaardigheden. We onderscheiden daarbij opvattingen ten aanzien van de inhoud van het onderwijs en de manier waarop deze aan leerlingen gepresenteerd moet worden, opvattingen over werkvormen en ook persoonlijke opvattingen en motivatie van de docent. De vaardigheden hebben betrekking op het vermogen van de docent bepaalde werkvormen en didactische principes toe te passen en om te gaan met leerlingen en tevens de bediening van de computer.

Een belangrijke conclusie uit het onderzoek is dat computergebruik in grote mate moet aansluiten bij de opvattingen en vaardigheden van de docent. Om een voorbeeld te geven: wanneer het gebruik van de computer afwijkt van de werkvormen die de docent gewoonlijk placht te gebruiken (groepswork i.p.v. klassikaal) en ook nog de leerstof op een andere manier aanbiedt, dan is de kans groot dat de docent de computer niet gebruikt. Er wordt dan ook aanbevolen, het gebruik van de computer te laten aansluiten bij de routines van de docent. Pas als de computer op die wijze geïntegreerd is in het handelen van de docent kunnen langzamerhand meer complexe computertoepassingen geïntroduceerd worden.

De conclusies uit dit onderzoek zijn van invloed geweest bij de keuze voor de vertaling en redactie van de op de Woudschotenconferentie gepresenteerde courseware. Wij wilden courseware op de markt brengen, die aansloot bij de praktijk van de docent. Zo wijkt zij niet af wat betreft vakinhoud, geeft zij een duidelijke verbetering te zien ten aanzien van het trainen van het probleemoplossend vermogen bij de leerling, is de technische bediening zeer eenvoudig en kan zij in verschillende werkvormen worden toegepast. Doordat de aanwezigheid van de docent niet vereist is, is de courseware zeer geschikt voor het volwassenenonderwijs.

Toegepaste Natuurkunde: de courseware

Applied Physics Problem Solving Microlab (of met Nederlandse titel: Toegepaste Natuurkunde; probleemoplossen per computer) is een courseware-pakket voor mid-

delbare-schoolnatuurkunde dat voor de Amerikaanse markt is ontwikkeld en door de Israëlische firma DEGEM wordt uitgegeven. Op dit moment wordt een gedeelte van het pakket in het Nederlands vertaald. De titel geeft aan dat het programma beoogt om door middel van het toepassen van bestaande kennis in opgaven de probleemoplosvaardigheid van de gebruiker te vergroten. Er wordt geen nieuwe theorie aangedragen, deze dient reeds behandeld te zijn. Toch wordt de leerling niet aan z'n lot overgelaten. Integendeel: alle informatie, nodig om een probleem op te lossen is aanwezig en door de gebruiker op elk moment oproepbaar. Allereerst kiest de leerling een van de opgaven die per module beschikbaar zijn. (Elke module bevat 10 opgaven over een bepaald onderwerp waarvan de docent er vooraf naar believen tot maximaal 8 in een les kan opnemen. De zes modules die binnenkort als nederlandse versie uitgegeven worden zijn: Kracht, Snelheid, Mechanische Energie, Elektrische Energie in Stroomkringen, Optica en Geluid.) Er verschijnt dan een tekening op het scherm met daaronder de probleemstelling. Elke opgave is op dezelfde wijze vormgegeven, hetgeen het gebruik van telkens dezelfde oplosstructuur bevordert (d.w.z: bestudeer het probleem en het plaatje, bepaal de onbekende, zoek de relevante formule(s) en gegevens, reken uit en geef de oplossing in de juiste eenheden.) Formules, een verklarende woordenlijst, numerieke gegevens, 'hints' en een algemene oplosstrategie verschijnen pas op het scherm als men er via aanklikken van het bijbehorende symbool op de menubalk om vraagt. (Het programma is muisgestuurd; gebruik van pijltjestoetsen i.p.v. de muis is mogelijk) Omdat de getoonde informatie redundant is bestaat er verder de mogelijkheid om bij het bekijken ervan aan het programma te vragen welke gegevens relevant zijn en welke niet. Geeft de leerling een antwoord dat fout is, dan geeft het programma adequate terugkoppeling en sturende aanwijzingen voor een nieuwe poging. De leerling kan op elk gewenst moment de opgave of het programma verlaten.

Het programma is inzetbaar in de klassen 4 en 5 havo/vwo (sommige onderwerpen zijn ook in 3 vwo al bruikbaar). Het is niet curriculumdekkend, maar bevat in totaal 21 modules met onderwerpen uit verschillende leerstofgebieden. Er zijn nog nieuwe modules in ontwikkeling. Hoewel klassikale toepassing in het computerlokaal zeer wel mogelijk is (bijvoorbeeld na het afronden van een bepaald theoriegedeelte) ligt de kracht van dit programma toch in het individueel gebruik door de leerling, eventueel buiten lestijd. Aanwezigheid van de docent is nl. - door de vele adequate terugkoppelingen - niet vereist en het programma slaat automatisch alle handelingen van de leerling op (Welke opgaven gemaakt? Goed/fout antwoord? Welke fouten gemaakt? Welke informatiebronnen geraadpleegd? enz.). Via het docenten-deel "Evaluatie" van het programma kan de docent achteraf deze verrichtingen van de leerling bekijken.

Het samenstellen van een specifieke les uit de 10 (per module) beschikbare opgaven gebeurt eveneens in het docentprogramma. Elke leerling kan een wachtwoord

toebedeeld krijgen, de opgaven zijn op 2 moeilijkheidsniveau's geïndexeerd en per module staat de docent een taxonomie ter beschikking. Dit is een matrix met voor elke opgave een kolom en in de rijen de leerinhouden, leerdoelen en vaardigheidsdoelen die eventueel in de opgave aan de orde komen. Via kruisjes in de kolommen krijgt men snel een overzicht welke opgaven wel en welke niet geschikt zijn om op een bepaald moment in het leerproces aan de leerling voor te leggen.

Resumerend kan men stellen dat "Toegepaste Natuurkunde; problemen oplossen per computer" de kennis van natuurkundige basisbegrippen vergroot en vooral het gestructureerd oplossen van vraagstukken bevordert. De inzetbaarheid van het programma is groot door zijn spreiding van onderwerpen over veel verschillende leerstofgebieden en het gebruik van steeds dezelfde (gebruiksvriendelijke) user-interface bespaart veel tijd bij het leren werken met de courseware. Twee duidelijke handleidingen geven zowel leerling als leraar al gauw het gevoel vertrouwd te zijn met het pakket.

Deterministische chaos

Werkgroep 9

G. de Goede



Inleiding

Plaatst men een kleine, draaibaar opgehangen permanente magneet (rotor) tussen twee spoelen, en stuurt men door die spoelen een wisselstroom, dan heeft men een eenvoudige uitvoering van een wisselstroommotor.

Wellicht tot veler verbazing, is het mogelijk om de rotor te laten bewegen, *zonder* dat er ogenschijnlijk sprake is van *periodiciteit*. Aangezien we veronderstellen dat de beweging van de rotor geheel wordt bepaald door de wetten van de klassieke mechanica en elektrodynamica, zou dit een voorbeeld kunnen zijn van *deterministische chaos*.

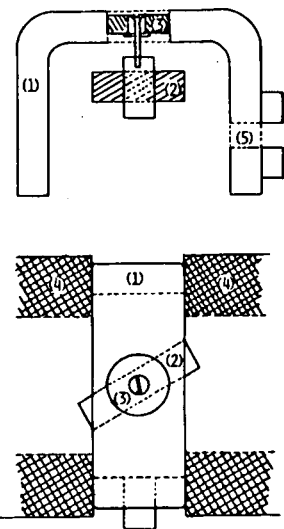
Als we dit eenvoudige systeem ten prooi laten vallen aan hard- en software die in het kader van het WEN-thema *Fysische Informatica* op de markt is gekomen, dan ontstaat er een opstelling, die o.a. de volgende mogelijkheden biedt:

- * Het in detail onderzoeken van een chaotische beweging.
- * Demonstratie van de belangrijke voordelen van computer-ondersteund meten.
- * 'Modelling': het opstellen en testen van een wiskundig model.
- * Meetgegevens op een aantal verschillende manieren grafisch presenteren.
- * Belangrijke aspecten van periodieke beweging illustreren: damping, resonantie, faseverschuiving, stabiliteit, instelverschijnselen.

Aan dit laatste punt wordt in de werkgroep geen aandacht besteed

Specificaties van de motor

Zie figuur 1. (1) *drager*: een U-vorm van een reep dik perspex: 20 x 2 x 0,8 cm. (2) *rotor*: cilindervormige permanente magneet h:3 cm ϕ :1 cm. (3) *ophanging*: een kogellager. (4) *aandrijving* d.m.v. een wisselstroom door een serieschakeling van twee spoelen van ieder 1000 windingen; *spanningsbron*: een SF-functiegenerator met ingebouwde versterker.

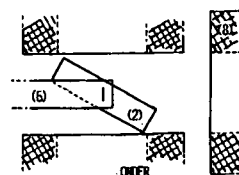
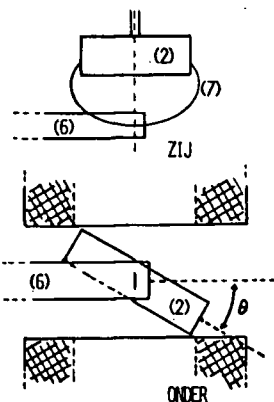


Figuur 1: zij- resp. boven-aanzicht

Met deze opbouw van perspex, kan de beweging met de overheadprojector worden afgebeeld. Om de beweging van de rotor niet nodeloos gecompliceerd te maken, moet de aanwezigheid van magnetiseerbare materialen worden vermeden. In dit experiment wordt gewerkt met een wisselspanning met een vaste frequentie van 2,5 Hz. Het is de amplitude van de spanning V die wordt gevarieerd, en die ook telkens bij de verschillende meetresultaten wordt vermeld. Bij een andere opstelling, kunnen de interessante waarden voor frequentie en spanning afwijken.

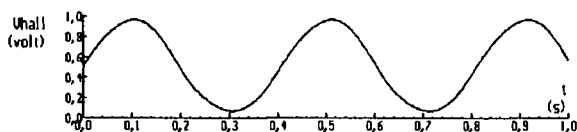
Hoekmeting

Voor een nauwkeurige registratie van de beweging van de rotor maken we gebruik van het programma *IP-Coach versie 3* en wel van het deelprogramma *Multiscoop*. De hoekmeting wordt uitgevoerd met de *CMA-Hallsensor*. Figuur 2 geeft een zij- en onderaanzicht. In dit onderaanzicht wordt ook de centrale variabele van het model, de *hoek* θ gedefinieerd. De plaatsing van de sensor (via opening (5) uit figuur 1) heeft tot gevolg dat het veld van de spoelen niet wordt geregistreerd.

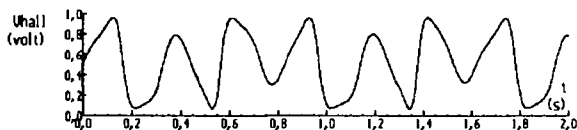


Figuur 2

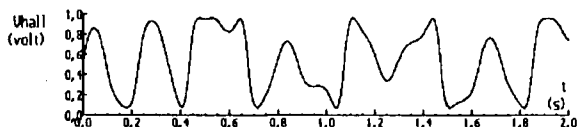
Het signaal hangt als volgt af van de hoek θ :
 $V_{\text{hall}} = V_0 + V_1 \cos\theta$ met $V_0=0,5 \text{ V}$ $V_1=0,45 \text{ V}$. V_0 wordt door de Hall-sensor bepaald, V_1 hangt af van de afstand tussen de sensor en de rotor.



Figuur 3a: $V = 1 \text{ V}$



Figuur 3b: $V = 2,6 \text{ V}$



Figuur 3c: $V = 3,5 \text{ V}$

Een zuiver eenparige draaibeweging met constante ω , waarbij de grafiek sinusvormig is, blijkt met deze motor, bij de frequentie van 2,5 Hz, niet haalbaar. Figuur 3a toont wat dit betreft de beste benadering. Figuur 3b is periodiek, maar met een verdubbelde periode. In figuur 3c is nog geen herhaling te bespeuren, maar het is voorbarig om nu te stellen dat deze beweging chaotisch is. Een langere meettijd zou meer licht op de zaak kunnen werpen, maar heeft als nadeel dat de afbeelding minder nauwkeurig wordt. Een handig alternatief is een afbeelding van de faseruimte: hierin wordt de hoek uitgezet tegen de hoeksnelheid en vervalt de tijd-as.

Hoeksnelheidsmeting

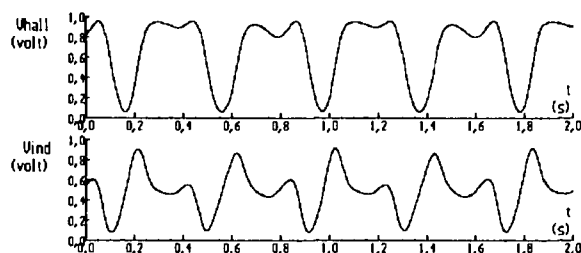
Voor deze meting wordt een 3^e spoel van 1000 windingen gebruikt. De rotor wekt hierin een inductiespanning op:

$$V_{\text{ind}} \sim -\omega \sin\theta$$

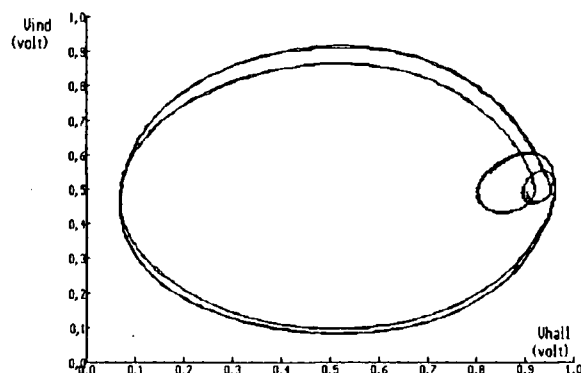
Dit signaal is onze 'maat' voor de hoeksnelheid.

Figuur 4: onder-aanzicht
 (6) Hall-sensor (8) meetspoel

Voordat dit signaal aan het meetpaneel kan worden toegevoerd, moet het worden versterkt, en worden 'opgetild' door er een positieve offsetspanning V_0 bij op te tellen. Dan pas kunnen ook de negatieve inductiespanningen worden verwerkt. Beide operaties kunnen worden uitgevoerd door de CMA meetversterker: $V_{\text{ind}} = V_0 - H \omega \sin\theta$, H is afhankelijk van de afstand tussen meetspoel en rotor en de gekozen versterking en moet zo worden ingesteld, dat $H \omega < 0,5 \text{ V}$.



Figuur 5a: $V = 3,24 \text{ V}$

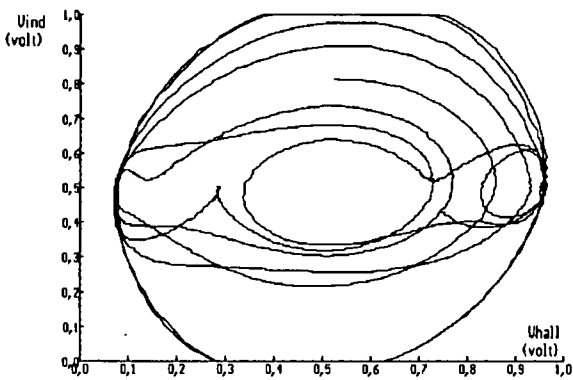


Figuur 5b: $V = 3,24 \text{ V}$

Figuur 5b is afgeleid uit figuur 5a, binnen het IPC deelprogramma Verwerking. Een schijnbaar chaotische beweging (zoals fig. 3c), ziet er, bij opnieuw een meettijd van 2 s, als volgt uit.

(Merk op dat bij deze 'opname' de waarde voor de hierboven genoemde H niet goed is ingesteld.)

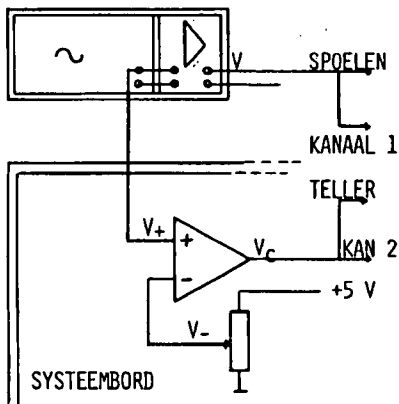
Hoewel je bij deze wijze van afbeelden in principe beperkt lang kunt meten, 'loopt' hier het beeld op den duur vol. Een nog andere wijze van afbeelden, de z.g. Poincaré-sectie, brengt hier uitkomst.



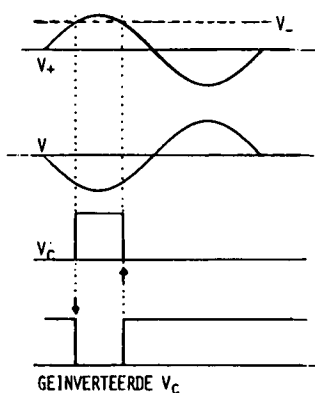
Figuur 6: $V = 3,5 \text{ V}$

De Poincaré-sectie

Voordat we de Poincaré-sectie bespreken, moeten we ons nog rekenschap geven van een vreemd aspect van onze afbeeldingen van de beweging in een (soort) faseruimte: *de banen snijden elkaar*. En dit is niet mogelijk als, zoals eigenlijk de bedoeling is, elk punt van de faseruimte een volledige beschrijving van het systeem op een zeker tijdstip geeft. Immers, dan zou de beweging vanuit dat punt altijd op dezelfde wijze (dus in dezelfde richting) verder moeten gaan. We moeten ons realiseren, dat naast hoek en hoeksnelheid, ook de aandrijvende kracht een veranderlijke grootte is.



Figuur 7a

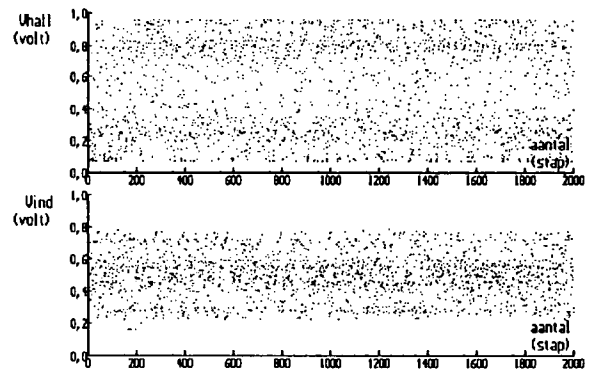


Figuur 7b

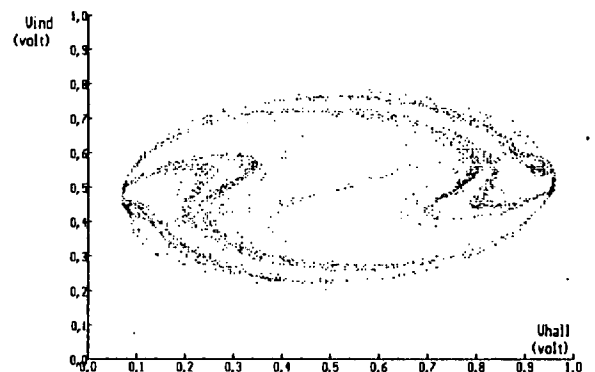
De volledige faseruimte is dus *3-dimensionaal* en de fasebaan van de chaotische beweging is een soort 'ernstig verwarde kluwen wol'. Een 'eerlijke' 2-dimensionale voorstelling van zaken krijgen we door telkens bij *dezelfde* aandrijvende kracht (oftewel bij dezelfde fase van de wisselstroom) een hoek- en hoeksnelheidsmeting te doen. Per periode krijgen we dus één meetpunt; elk meetpunt is een doorsnede van de fasebaan met een vlak in de faseruimte. Deze afbeelding wordt een *Poincaré-sectie* genoemd.

Met behulp van het deelprogramma *Stapmeting* en het Systeembord kan een dergelijk periodieke meting worden uitgevoerd. Bij dit programma wordt er slechts een meting uitgevoerd wanneer er op de *tellingang* van het meetpaneel een HOOG-LAAG-overgang plaats vindt. Om dit z.g. *trigger-sigitaal* te maken, gebruiken we de schakeling van figuur 7a. De instelling van de referentie-spanning bij de comparator, bepaalt bij welke fase ϕ van de aandrijvende wisselspanning de meting wordt verricht. Door de uitgangsspanning van de comparator V_c eerst te inverteren (met de invertor van het systeembord) alvorens het naar de teller-ingang te sturen, kan ϕ over een bereik van π radialen worden ingesteld (zie fig. 7b).

De volgende figuren maken zeer duidelijk waarom het predikaat chaotisch echt wel van toepassing is op de beweging.



Figuur 8a: $V = 8,00 \text{ V}$



Figuur 8b: $V = 8,00 \text{ V}$

Figuur 8a is het eindresultaat van een *Stapmeting*, bevat 2000 meetpunten en heeft (indirect) nog de tijd op de x-as. Figuur 8b is weer gemaakt binnen *Verwerking* en

geeft de verlangde 2-dimensionale doorsnede van de fase-ruimte.

Deze laatste figuur suggereert echter ook dat er meer aan de hand is. Opmerkelijk is bovendien dat een herhaling van de meting aan de chaotische beweging een Poincaré-sectie oplevert die *globaal dezelfde vorm* heeft. Kleine storingen zijn op de vorm niet van invloed.

Instelverschijnselen en aantrekkers

Een op het eerste gezicht chaotische beweging, kan na verloop van tijd toch periodiek worden en blijven. We spreken in dit geval van *instelverschijnselen*. De uiteindelijke gesloten baan in de faseruimte werkt als een aantrekker: als de beweging aanvankelijk, vanwege de gekozen startwaarden, buiten die periodieke baan ligt, zal hij er langzaam maar zeker naar toe getrokken worden. Een niet-aangedreven, gedempte trilling, bijvoorbeeld, heeft een punt als aantrekker. Is een beweging periodiek maar niet gedempt, dan is de aantrekker een gesloten kromme, b.v. een ellips. Een *fundamentele vraag* in de theorie van de dynamische systemen is: bestaan er aantrekkers die niet periodiek zijn? Het antwoord is 'ja' en onze figuur 8b toont een sectie van zo'n *vreemde aantrekker*.

Vragen naar aanleiding van het experiment

Het experiment heeft al het een en ander duidelijk gemaakt over wat wordt bedoeld met 'deterministische chaos'. Maar er dienen zich ook een aantal vragen aan:

- * Waarom is eenparig draaien niet mogelijk? (Mechanische onvolkomenheden van de motor? Invloed van het aard-magnetisch veld?)
- * Is het chaotisch gedrag een gevolg van externe storing, of misschien zelfs van interne niet-deterministische processen?

Deze vragen zijn pas te beantwoorden als we de effecten van alle bekende krachten hebben doorgerekend. Hiertoe ontwikkelen we een eenvoudig wiskundig model van het systeem.

De bewegingsvergelijking

Voor een draaibeweging geldt het volgende analogon van de 2^e wet van Newton: $I d\omega/dt = \tau_{tot}$, met I traagheidsmoment, $d\omega/dt$ hoekversnelling en τ_{tot} het totale koppel.

De voornaamste krachten op de rotor zijn:

- aandrijvend koppel: $\tau_{aan} = \mu B_{aan} \cos\theta$
met $B_{aan} = B_{max} \cos(2\pi ft)$;
- rolwrijving van lager: τ_{rol} onafhankelijk van ω ;
- viskeuze wrijving van lager: τ_{vis} evenredig met ω .

Door beide kanten van de bewegingsvergelijking te delen door I krijgen we de z.g. genormaliseerde bewegingsvergelijking:

$$d\omega/dt = -c\omega/|\omega| - d\omega + a \cos\theta \cos(2\pi ft)$$

Een niet-lineaire differentiaalvergelijking (DV) van de tweede orde.

Numeriek oplossen van differentiaalvergelijkingen

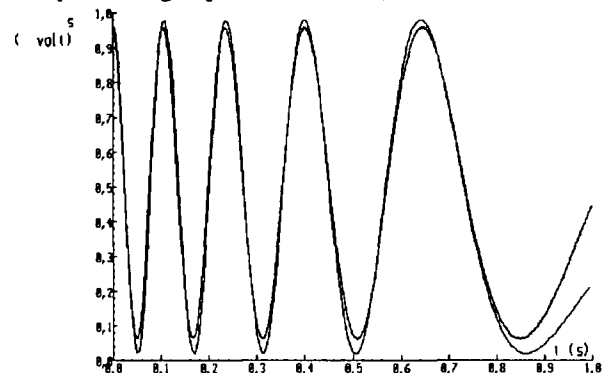
Slechts een beperkt aantal DVN is exact op te lossen. Gezien het vreemde gedrag van het model zal bovenstaan-

de bewegingsvergelijking daar zeker niet bij zijn. Toch heeft ook deze vergelijking bij gegeven startwaarden en parameterwaarden, één unieke $\theta(t)$ als oplossing. Met behulp van numerieke algoritmen (zie b.v. het boek van van Asselt) kan deze functie voor een reeks tijdstippen worden berekend. Deze algoritmen kunnen in de vorm van een model worden gegoten, dat met programma's als *DMS of ModelOmgeving* van IP-Coach, kan worden 'doorgerekend'. De grafische uitvoer van deze programma's kan dan direct vergeleken worden met de resultaten van het experiment.

Hoe schatten we de modelparameters?

De beide wrijvingsparameters c en d zijn bepaald met behulp van het IPC deelprogramma ModelOmgeving. Hiermee is het mogelijk om gemeten en berekende θ - t -grafieken nauwkeurig met elkaar te vergelijken. De beweging waarbij deze vergelijking is uitgevoerd, is een *uitdraaibeweging*: de rotor draait met een draaifrequentie van 10 Hz waarna plotseling de aandrijvende stroom wordt onderbroken.

Al probeerd bepaalt men de beste waarden van c en d . Het optimum ligt bij $c \approx 33$ en $d \approx 0,88$.



Figuur 9

Deze mate van overeenstemming is echter alleen te verkrijgen, als men de invloed van het aard-magnetisch veld minimaliseert. Bijvoorbeeld door de opstelling zo te draaien dat de as van de meetspoel naar het magnetische noorden wijst, en bovendien een geschikte compensatie-stroom door deze spoel te sturen.

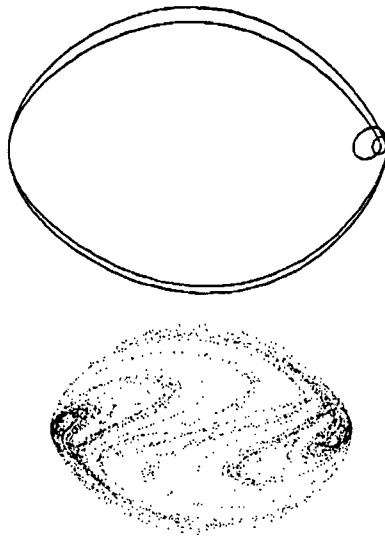
De waarde van a zal recht evenredig zijn met de amplitude van de wisselspanning. Door na te gaan bij welke minimale waarde van V en a de motor en resp. het model nog net blijven draaien, is een schatting te maken van $V/a \approx 1/137!$ (Zie R. Feynman's 'QED'.)

Numerieke resultaten

Uit deze figuur, waar dezelfde grootheden langs de assen staan, als in de vorige fasediagrammen, blijkt dat de overeenstemming tussen werkelijkheid en model frappant is (vergelijk met de figuren 5b en 8b).

Het gebruik van het wiskundige model heeft een aantal voor- en nadelen:

- * nauwkeurige controle over parameters en startwaarden;



Figuur 10

- * geen last van externe storingen;
- * geen twijfel over de gedetermineerdheid van het systeem;
- * je ziet niets bewegen;
- * berekenen gaat (met de huidige computers) langzamer dan meten.

Ook rijzen er vragen over de invloed van de nauwkeurigheid van de gebruikte numerieke methode. Enige numerieke experimenten geven aanleiding tot de volgende vermoedens:

- * het al dan niet optreden van chaotisch gedrag is niet afhankelijk van de rekennauwkeurigheid;
- * de duur van de instelverschijnselen hangen wel af van die nauwkeurigheid;
- * de vorm van de vreemde aantrekker hangt niet af van de nauwkeurigheid; bij verminderde nauwkeurigheid wordt hij echter wel diffuser.

Wat leert dit experiment ons over deterministische chaos?

- * Deterministische chaos kan worden gekarakteriseerd door de aanwezigheid van een niet-periodieke, maar wel begrensde aantrekker in de fase-ruimte (vreemde aantrekker).
- * Eenvoudige systemen, bv periodieke aandrijving met wrijving, kunnen een vreemde aantrekker hebben.
- * Het chaotisch gedrag is geen gevolg van externe storing of intern indeterminisme, immers: in een goed gelijkend wiskundig model ontbreken deze effecten.
- * Chaotisch beweging is enerzijds extreem gevoelig voor storing: de kleinste storing geeft aanleiding tot een totaal andere baan in de faseruimte. Anderzijds heeft storing geen invloed op de vorm van de vreemde aantrekker: door de aanwezigheid van wrijving, verdwijnt het effect van de storing telkens snel en wordt het globale gedrag niet beïnvloed.

- * Chaos hoort thuis in het rijtje van natuurlijke bewegingen: eenparig, eenparig versneld, harmonisch, periodiek,.. En is waarschijnlijk zelfs de populairste beweging in de natuur.

Literatuur

- M.J.Ballico e.a., 'The bipolar motor: A simple demonstration of deterministic chaos', *Am. J. Phys.* 58, 58-61 (1990).
- H.Tennekes, 'De vlinder van Lorenz, De verrassende dynamica van chaos', Aramith Uitgevers Bloemendaal, (1990).
- R. van Asselt e.a., 'Wiskunde voor het hoger onderwijs, deel 2', Educaboek, (1989).

Waarom lust olijfje geen spinazie?

Werkgroep 10

A. de Leeuw & M. Bollen



Aan de hand van een aantal vragen en een opdracht werd gediscussieerd (plenair en in groepjes van twee) over de rol van contexten en de kwaliteit van examenvragen in het WEN-programma. Achtergrond hierbij vormden de ervaringen van de voorloopscholen met het eerste WEN-eindexamen en het WEN-programma, waarover gerapporteerd werd in het NVON-Maandblad 9, 1991 (door Janssens, resp. Biezeveld).

De discussie werd gevoerd aan de hand van het "spinazievraagstuk" in het experimentele eindexamen.

Samenvatting van de discussie aan de hand van de vragen en opdrachten:

1. Vooral bij de spinaziesom waren er grote verschillen tussen meisjes en jongens te zien wat betreft de behaalde resultaten. Hadden de deelnemers verwacht dat meisjes 't zoveel slechter zouden doen op deze som en dit examen, vergeleken met het reguliere examen? Ofwel: Lossen contexten het probleem op of vergroten ze het?

Discussie

De vraag is of het aan de contexten ligt. Meisjes zijn gevoeliger voor de onzekerheid van de docent bij de introductie van een ook voor hem/haar nieuw onderwerp. Een docent van een voorloopschool bevestigt dit: de structuur en de organisatie waren rommeliger dan anders vanwege de aanloopfase. Hij vindt dat de verschillen daaraan te wijten zijn.

Het zou wel aan de contexten kunnen liggen, aldus een ander: Meisjes accepteren contextbegrippen moeilijker, met name hebben ze meer tijd nodig voor technische onderdelen en apparaten. Door een ander onderbouwd met: Meisjes willen eerst weten hoe 't precies gaat en er dan pas aan werken. Jongens gaan eerder aan de gang. Het nieuwe programma is soms te oppervlakkig en gaat niet in op de behoefte aan dieper weten van veel meisjes. Hierbij speelt ook de omvang van het nieuwe programma een rol.

Ook de verschillende thuiservaringen spelen een rol. Bijvoorbeeld hebben jongens vaak meer ervaring met de computer, ze spelen er thuis meer mee. Bij fysieke automatisering zie je dat meisjes vaak onzekerder zijn vanwege de grote hoeveelheid materiaal. E.e.a. brengen als een "black box" lost dit onzekerheidsprobleem niet echt op.

2. Hebben we er goed aan gedaan om contexten op te nemen in het WEN-programma?

Discussie

Op grond van de examencijfers van dit eerste experimentele examen kun je niet beoordelen hoe goed een context aan de orde is gekomen. Daarvoor is inzicht nodig in de klassesituatie die er is geweest.

Contexten moet je er niet met de haren bij slepen, alleen als de leerstof er 'als vanzelf' aanleiding toe geeft. De docent die dit vindt, heeft de ervaring dat de meisjes niet slechter en in gymnasium zelfs beter scoren dan de jongens.

Leerlingen moeten ook wennen aan beoordelingen en bevragingen met betrekking tot contexten. Het gevaar wordt gesignaleerd dat contexten het moeilijker maken. Bijvoorbeeld is het de bedoeling dat je maar één voor de oplossing van de som relevant aspect mag opmerken, en met andere interessante zaken in de context mag je niets doen. Meisjes zijn juist daarin vaak veel meer geïnteresseerd. Bijvoorbeeld bij het onderwerp moleculen ingaan op de vraag hoe mensen dat in het verleden ontdekt hebben, inzicht in dat proces van vallen en opstaan geeft meisjes het vertrouwen dat ze het zelf ook kunnen. De (historische) context en de fysieke "harde kern" moeten even belangrijk gevonden worden in het onderwijs.

Contexten werken ook motiverend als het geleerde geplaatst wordt in het kader van het nut ervan voor jezelf, voor anderen. Dat is belangrijk voor meisjes en jongens. Als voorbeeld wordt de intensive care van een ziekenhuis genoemd, waar techniek ten dienste staat van de mens.

Een docent maakt de belangrijke opmerking dat het werken met contexten soms niet lukt, omdat je zelf, als docent, nooit dergelijk onderwijs gehad hebt, maar het is wel zeker dat de klas dergelijk onderwijs leuk vindt. Als leerlingen en docenten bij aanvang van een onderwerp wat voorkennis betreft even veel weten, (bv zonne-energie), dan worden de lessen vriendelijker, verlopen gemakkelijker, dan komen de leerlingen met meer vragen en zijn ze belangstellender. Natuurkunde als een vast bouwwerk van waarheden wordt wat meer gerelativeerd. Bij proefwerken zijn ze vaak toch weer onzeker bij vragen waar meer dan 1 antwoord mogelijk is.

3. Hoe vraag je contexten op een goede manier af in examens? Waarbij de kunst is om wel vragen over contexten in te brengen, maar daardoor geen onzekerheid te veroorzaken.

Discussie

Opmerkingen gaan over de relatie tussen de context en de "harde" fysische kern:

Voor transfer (begrip in een bepaalde context aangeleerd, ook binnen andere context kunnen gebruiken) is een stuk modelvorming nodig. Explicitering van modelvorming is voor leerlingen nodig, door in te gaan op de vraag: *Hoe kies je de zaken waar je bij de oplossing van een probleem in context wel op let en welke je opzij zet?* Als je dat niet doet hou je een hele denklaag impliciet en moet je die niet expliciet maken voor de leerlingen? Bovendien: leerlingen hebben niet het zelfde model in hun hoofd als de docent. De docent maakt het gebruikte model bij contextrijk onderwijs vaak niet zo expliciet als wanneer hij/zij vanuit de theorie start.

Vervolgens wordt in groepjes van twee kritisch gekeken naar de spinazies om, aan de hand van een aantal leidvragen:

- De formulering (taalgebruik) en onderwerpskeuze: zouden die bv. problemen kunnen opleveren voor bepaalde groepen leerlingen? Zo ja, hoe zou het dan beter kunnen?
- De keuze en het gebruik van de context in de som: Hoe gebeurt dat, zou het anders moeten en zo ja, hoe?
- De vormgeving: lay-out, illustratie etc. Is dat goed zo, of zou het anders moeten, zo ja hoe?

Tijdens de discussie in groepjes werden de volgende opmerkingen genoteerd:

De vraag gaat heel abstract over spinazie maar niet over de (emotionele) betrokkenheid en de betekenis voor de mens van "Tsjernobyl". Eigenlijk is het geen contextvraag.

Men gaat er van uit dat leerlingen een idee hebben van wat ingevroren spinazie is, wat "laatste gebruiksdatum" inhoudt en waarom dat belangrijk is. Dat is een stuk leefwereld dat veel leerlingen niet kennen. De term "doorgedraaid" is voor veel leerlingen onbekend.

Wat moeten leerlingen verstaan onder de "totale activiteit"?

Vraag 17 is onduidelijk geformuleerd.

Kunnen leerlingen in de war raken als ze zich afvragen of het invriezen van besmette spinazie effect kan hebben op de radio-activiteit? Dat is iets waar je over door kunt vragen.

Als je het antwoord op vraag 20 wilt kunnen geven moet je eerst het antwoord op 19 weten. Koppelvraag dus.

Na afloop van de *groepsdiscussies werd geïnventariseerd*: Er staat heel veel tekst die je niet nodig hebt, bijvoorbeeld maak je leerlingen onzekerder door het woord "doordraaien" te gebruiken dat velen niet kennen. De tekst daarover is wel relevant voor vraag 20, daar moet die dan ook staan en het woord "doordraaien" niet gebruiken.

Er is wel sprake van een context, maar als puntje bij paaltje komt gaat 't gewoon om de "harde natuurkunde".

Hebben leerlingen bijvoorbeeld een beeld van wat er in Tsjernobyl gebeurd is? Bijvoorbeeld: Hoe komt de straling van daar in Nederland terecht? Als je met die vragen om kunt gaan, heb je iets begrepen over wat de risico's zijn, maar daar wordt in deze som niet naar gevraagd. In relatie daarmee de vraag: Hoe had "Tsjernobyl" voorkomen kunnen worden, vind je het erg wat daar gebeurd is?. Een ander meent dat die vragen niet op een examen thuis horen, maar wel bijvoorbeeld de vraag: Wat is het effect van invriezen op de halfwaardetijd? Of: Wat doe je met de eventueel doorgedraaide (afgekeurde) spinazie? Geeft het als die dan nog als veevoer gebruikt wordt? En als het vlees van die varkens dan weer op tafel komt? Relevante en fysisch inhoudelijk interessante vragen genoeg dus. Helaas: in deze som is de context gebruikt als verpakkingsmateriaal.

Leerlingen kunnen onzeker worden als ze gevraagd wordt een kromme te tekenen waarbij je maar over 3 punten beschikt. Dat komen ze niet vaak tegen. Gezien de tekst is de leerling die een grafiek laat beginnen bij 2500 Becquerel, nog te verdedigen. De vraag is heel onduidelijk. Bij vraag 17 wordt geen duidelijk tijdsinterval gegeven. Verwarrend en onzekerheid bevorderend.

De x-as is verkeerd: daar staan data, maar geen tijdstippen. Het is heel onduidelijk wat "vanaf welke dag" betekent. Ook het herhalen van de grenswaarde 1300 Bq/kg zou verwarring kunnen scheppen want dat is ongebruikelijk. De leerlingen denken dan dat ze met een nieuw gegeven te maken hebben. Anderen zijn het met deze opmerking echter niet eens.

De hoeveelheid tekst maakt de opgave moeilijk. Veel en heel verspreid. Het is storend dat het verhaal steeds onderbroken wordt door een vraag. Dat maakt het moeilijk om e.e.a. te integreren. Beperk de maximale hoeveelheid tekst, m.n. voor HAVO-leerlingen. Ook loopt de formulering niet lekker, dat maakt het ook een lastige tekst. Het is moeilijk voor leerlingen die moeite hebben met Nederlands.

Advies van een docent: Kijk eens welke tekst bij elkaar gepakt kan worden, en dan bijvoorbeeld vragen 15, 16 en 17 bij elkaar zetten, dat maakt 't wellicht overzichtelijker. Anderen vinden dat dat niet moet gebeuren omdat 15 een BINAS opzoekvraag is. Als alternatief wordt aangereikt

dat zakelijk begonnen kan worden met de "technische vragen", bv. vraag 15 en daarna 't spinazieverhaal aan de orde te laten komen met de vragen in de tekst, die dáár over gaan. Dat heeft echter het bezwaar dat er dan geen sprake meer is van contextrijk afvragen van natuurkunde.

Andere mogelijkheid: Maak eerst een begintekstje, zonder fysische gegevens, met de vragen waar het eigenlijk om gaat. Bijvoorbeeld de vragen: Is spinazie nog voor consumptie geschikt, zo nee, is het dan na enige tijd wel voor consumptie geschikt?

Een betere titel zou zijn: "besmetting van spinazie", i.p.v. "Spinazie", want dat geeft beter aan waar de som over gaat. Bij de som getiteld "thermostaat" kan het erg blokkeren als leerlingen denken niets van thermostaten af te weten. (Dat is overigens wel een WEN-contextbegrip)

Als context kun je veel meer met "spinazie" doen. Deze context is helemaal niet naar de mens toegebracht.

Uitkomst van de discussie is een *aanbeveling voor een alternatieve opbouw van vragen in context*:

1. Een inleidend kopje zonder fysische informatie, gevolgd door:
- 2 Concrete kennisvragen (bijvoorbeeld opzoeken van gegevens in BINAS-boekje, reproductievragen), en tot slot:
- 3 Vragen over en in de context.

Andere tips die door de deelnemers aangereikt worden zijn:

- vermijd een zware koppeling tussen deelvragen binnen een opgave (bijvoorbeeld tussen vragen 18 en 19 van de spinaziesom)
- leerlingen expliciteren dat ze de vaardigheden samenvatting en tekstverklaring geleerd bij Nederlands, ook bij vragen in context kunnen gebruiken (maar dat houdt in dat leerlingen met een slechte leesvaardigheid benadeeld worden.



In het examenprogramma is Natuurkunde ook Overal

Werkgroep 11

P.G. Hogenbirk & A.ter Heerdt

Het WEN-programma is niet zo maar een beetje anders dan het vorige examenprogramma. Inhoudelijk zijn er zowel onderwerpen geschrapt als bijgekomen. Tegelijk zijn onderwerpen veel vaker dan voorheen voorzien van voorgeschreven contexten.

Belangrijker is nog dat de geest van het programma aanzienlijk is veranderd. Praktische vaardigheden zijn uitgebreid opgenomen en gespecificeerd; datzelfde geldt voor informatieverwerkende vaardigheden. Meer aandacht wordt gevraagd voor een zelfstandige houding van de leerlingen (het open onderzoek) en voor het vermogen kritisch natuurkundige informatie te kunnen beoordelen.

Contexten

Voorbeelden van situaties waarin natuurkundige kennis toepasbaar, herkenbaar of noodzakelijk is, versterken het leerproces. Daarom is het goed een nieuw onderwerp waar mogelijk te introduceren met een instapcontext: een verhaaltje, een probleem of de beschrijving van een verschijnsel, waarmee de leerling op het spoor van een stukje natuurkunde wordt gezet. Die functie in de didactische aanpak kan niet uitsluitend vervuld worden door de in de WEN voorgeschreven contexten. Je daartoe beperken zou bovendien een behoorlijke verschraling geven. Daarom is in Natuurkunde Overal gekozen voor het starten met instapvoorbeelden in elk hoofdstuk en in elke paragraaf. Pas aan het einde van de rit, bij de examen voorbereiding, hoeven leerlingen te controleren of ze alle *verplichte* contextbegrippen wel kennen en zich bij een bepaald woord wat kunnen voorstellen. We maken dat mogelijk door deze verplichte contextbegrippen cursief in de index van het boek af te drukken.

Twee voorbeelden van het gebruik van contexten (uit de inleiding van hoofdstuk 3 van deel 4H):

- * Om de reistijden in Europa te verkorten wordt gewerkt aan een stelsel van railverbindingen waarop treinen met zeer grote snelheid kunnen rijden. Dit vereist wel speciale veiligheidsmaatregelen. De remweg van een TGV-Atlantique treinstel, dat rijdt met een snelheid van 315



km/h is meer dan drie kilometer! Wat er gebeurt als de remkracht te klein is of de beschikbare remafstand te kort, kun je zien op een prachtige, klassieke foto van het treinongeluk in het station Montparnasse in Parijs.

En (veel) verderop vraag 20:

20 Stel dat de trein station Montparnasse in Parijs met een snelheid van 40 km/h binnenreed en een massa had van $50 \cdot 10^3$ kg. De beschikbare remafstand was 150 m. Hoe groot moest in dat geval de totale remkracht zijn om de botsing te voorkomen?

- * Je kent die buitenboordmotoren wel. Door een touw flink naar buiten te trekken oefen je over een behoorlijke afstand een kracht op de motoras uit. Na een paar keer trekken slaat de motor aan.

En in de volgende paragraaf de instap:

- * Een touwtje is een aantal malen om het asje van het wentelwiekje gewikkeld. Door het touwtje er met enige kracht af te wikkelen krijgt een wiekje een flinke draaisnelheid. In feite gebeurt er hierbij net zoiets als bij de buitenboordmotor van de vorige paragraaf.

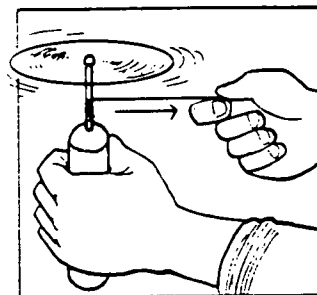


Fig. 3.2 Een speigoedwentelwiek

Nieuwe leerstofgebieden

Opvallend nieuw zijn natuurlijk de fysische informatica en de biofysica. Omdat Natuurkunde Overal concentrisch is, wordt aan beide onderwerpen in elke klas aandacht besteed. In feite start fysische informatica al in 3HV, maar de meeste aandacht gaat er naar uit in 4V, 5V en 6V in aparte hoofdstukken. Het systeembord vervult daarbij een belangrijke rol. Tussendoor worden, waar zinvol, demon-

stratie-experimenten beschreven waarbij van de computer gebruik wordt gemaakt en worden voorzichtig wat voorbeelden gegeven van modelleren en simuleren met de computer.

De biofysica is ondergebracht bij de fysisch verwante onderwerpen: het oog bij lenzen, het oor bij geluid en trillingen en de bloedsomloop in een afsluitend hoofdstuk in 6V. Meisjesvriendelijke contextvoorbeelden komen in deze methode niet alleen bij de biofysica aan de orde.

Het schrappen van onderdelen

Niet alleen zijn er (met name in het HAVO-programma) onderdelen verdwenen uit het programma, hier en daar wordt ook minder diepgang gevraagd dan voorheen. Dat is eigenlijk een van de lastigste veranderingen, zowel voor docenten als voor auteurs, omdat je nogal vastzit aan de bekende manier van uitleg, de bekende vraagstukken en daardoor maar moeizaam bepaalde uitleg over durft te slaan. Bovendien zit het er dik in dat examenmakers juist in de onderdelen die verdwenen zijn, hun inspiratie zullen vinden voor opgaven die inzicht in 'nieuwe' situaties toetsen. Daarbij zijn sommige dingen niet geheel logisch ingeperkt of uitgewerkt:

- Hoe kun je zien of leerlingen lopende golven begrijpen als je geen schets hoeft te kunnen maken?
- Hoe kun je met de formule $q \cdot \Delta V = \Delta(\frac{1}{2}mv^2)$ laten werken als HAVO-leerlingen het begrip potentiaal niet kennen (wat is dan ΔV), als ze alleen het versnellen hoeven te kennen (wat doe ik met een elektron waarvoor $q = -1,6 \cdot 10^{-19}$ C)? Wat doe ik met de verschillende betekenissen van het Δ -symbool?
- Wat doe je met de verschillende betekenis voor de grootte N in de formules voor halveringstijd en halveringsdikte:

$$N(t) = N(0) \cdot 2^{-t/t_{1/2}} \quad \text{en} \quad N(x) = N(0) \cdot 2^{-x/d_{1/2}}$$

Experimentele en informatieverwerkende vaardigheden

Natuurlijk komen in een methode waarin experimenten een integraal onderdeel zijn van de didactische opbouw en waarin veel voorbeelden en opdrachten gekoppeld zijn aan bijvoorbeeld krant artikelen, experimentele en informatieverwerkende vaardigheden ruimschoots aan bod. Maar er zitten aan die vaardigheden aspecten die zich slecht laten combineren met min of meer gesloten opdrachten. Daarom hebben we er voor gekozen om in de onderbouw bij elk hoofdstuk en in de bovenbouw tussen een aantal hoofdstukken in, aparte paragrafen op te nemen, waarin expliciet aan deelvaardigheden wordt gewerkt: verslaggeving, het opzetten van een onderzoek, het zoeken van informatie en het beoordelen daarvan, het vinden van een geschikt onderwerp om onderzoek naar te doen. Ter illustratie is in een bijlage een fragment uit het hoofdstuk B Thema's in Bronnen in deel 5V opgenomen.

De keuze van een nieuwe bovenbouwmethode op school

Bij natuurkunde gebruiken wij DBK in de onderbouw en Systematische Natuurkunde in de bovenbouw.

In april van 1991 hebben we geprobeerd een keuze te

maken voor een nieuwe bovenbouwmethode. Daarbij werden de volgende eisen geformuleerd:

- Strikte beperking tot het vereiste programma in VWO gezien de te verwachten overladenheid.
- In 4V meer variatie in onderwerpen i.v.m. de pakketkeuze.
- Practica moeten een wezenlijk onderdeel van de methode uitmaken.
- Voorbeelduitwerkingen in de methode met een systematische aanpak.
- Samenvatting na elk hoofdstuk.
- Het moet een methode zijn met zowel voor HAVO als VWO een eigen gezicht.
- Aantrekkelijk voor leerlingen.
- De aanpak mag best iets anders zijn dan de systematische van de gebruikte methode.
- Er moet systematisch worden voorbereid op het zelfstandig onderzoek.
- Er moeten uitgebreide docentenhandleidingen bij beschikbaar zijn.

Een overzicht van alle + en - punten van de verschillende methodes is hier niet op zijn plaats, vooral ook omdat de vergelijking niet uitputtend is geweest. Uiteindelijk is de keuze gevallen op Natuurkunde Overal, dat we direct in 4 en 5V hebben ingevoerd.

De eerste ervaringen tot nu toe zijn redelijk positief. Hoewel de teksten soms wat lang zijn, is er weinig extra uitleg van de docent nodig. Je moet wel jezelf wennen aan het bewust gebruiken van de contexten, de voorbeelden spreken niet altijd alle leerlingen aan.

Je moet in sommige op elkaar lijkende hoofdstukken oppassen voor kleine verschillen tussen de HAVO en VWO-edities. De practicum instructies zijn voldoende duidelijk (moeten soms wat worden toegespitst op de eigen situatie. Het zelfstandig oplossen van vraagstukken door de leerlingen lukt nog niet erg.

Doordat wij een andere onderbouwmethode gebruiken moet je soms alert zijn op verwachte voorkennis die jouw leerlingen niet hebben. Een voorbeeld is het rekenen met machten van 10 in het eerste hoofdstuk.

Het keuzehoofdstuk 'Vergelijkend Onderzoek' is nogal open en je moet de functie van de 'ondersteunende opdrachten' duidelijk uitleggen.

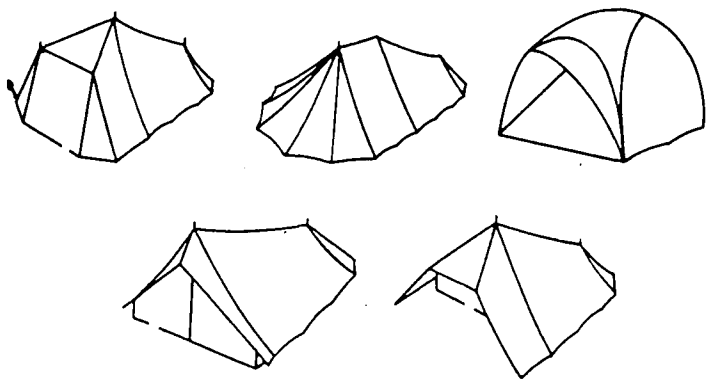
De behandeling van het onderwerp fysische informatica loopt goed; leerlingen vinden het leuk om met het systeem te werken. Alleen de toetsing is een probleem: het maken van een ontwerp op een afdruk van het systeem kost gigantisch veel correctiewerk.

Al met al is het niet gemakkelijk om in de nieuwe WEN-situatie met een nieuwe methode de juiste weg te vinden, goede keuzes te maken, ook waar je stopt met de behandeling van iets en de onzekerheid is groot: we weten nog niet precies waar we zullen uitkomen.

Bijlage:

In dit hoofdstuk kun je je verdiepen in een bepaald thema, dat we zó hebben gekozen, dat er veel natuurkundige aspecten een rol spelen. Die aspecten worden met korte zinnen summier aangeduid. De opdracht is met behulp van informatiebronnen-(natuurkunde)boeken, tijdschriften, folders en dergelijke die natuurkundige aspecten wat uitgebreider te beschrijven.

Krachten bij kamperen



- De vorm en bespanning van tenten hebben invloed op de stormvastheid en de stabiliteit.
- Er is een optimale hoek waaronder je een haring in de grond moet slaan en een beste stand voor scheerlijnen.

Illusies

- Moirépatronen ontstaan als twee of meer rasters voor elkaar worden geplaatst. Ze worden ondermeer gebruikt om zeer nauwkeurige lengtemetingen te verrichten.
- Met behulp van spiegels zijn veel optische grappen te realiseren; bekende opstellingen zijn de symmetrie-, hoek-, tripel- en kubusspiegel.

Sport: Zeilen

- Het krachterspel bij zeilen wordt bepaald door de stand van de zeilen in combinatie met de stand van boot en van het roer. Je kunt zelfs tegen de wind in!

Turnen

- Evenwicht op de balk of de brug met gelijke leggers, de afsprong bij het paard, golven in het lint bij ritmische gymnastiek, de spreidstand aan de ringen,

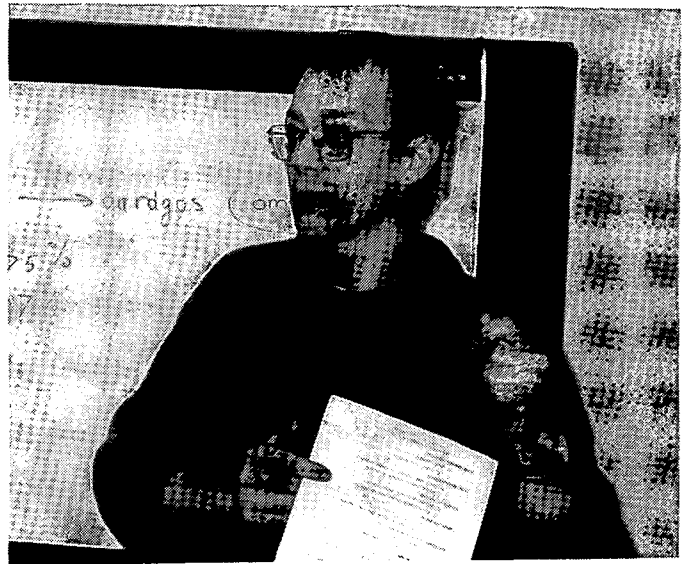
Biljarten

- De botsingswetten en de rol die het geven van "effect" daarbij speelt, zijn bepalend voor het maken van een carambole.

Vol (ideeën over) energie terug naar school

Werkgroep 12

A.E. v.d. Valk



Na 11 jaar werken aan de ontwikkeling van (PLON)lesmateriaal en aan onderzoek sta ik sinds augustus weer (gedeeltelijk) als leraar in de klas. Wat is nu de praktische waarde voor het leraarschap van wat ik in die 11 jaar gedaan heb? Het belangrijkste is, denk ik, dat ik inzicht gekregen heb in de manier van redeneren van leerlingen. De leerlingen redeneren in een aantal opzichten heel anders dan ik dacht toen ik leraar was.

Toch is die kennis minder direct bruikbaar in de klas dan ik verwachtte. Er is in de les eigenlijk veel te weinig tijd en gelegenheid om naar leerlingen te luisteren, ook al geef ik het merendeel van mijn lessen niet klassikaal. Om toch inzicht te krijgen in de denkbeelden van mijn leerlingen heb ik een vragenlijst over energie gemaakt. Energie is het onderwerp dat ik in mijn onderzoek uitgebreid bestudeerd heb bij leerlingen van 4/5VWO. Mijn leerlingen uit 3HV hebben de vragenlijst ingevuld voorafgaande aan lessen over energie. Ook heb ik de gegevens van mijn collega's van het Herman Jordan Lyceum in Zeist gekregen. Zo heb ik van 89 leerlingen gegevens gekregen (4 klassen). De leerlingen hebben reeds bij andere vakken, met name bij biologie, iets over energie gehad.

In de vragenlijst krijgen de leerlingen 19 situaties voorgesteld. Er wordt gevraagd of zo'n situatie met energie te maken heeft en zo ja of er energie *verbruikt* wordt, *gegeven* wordt, of er iets energie *is* of *bevat* en of er sprake is van energie die *stroomt*. Ze kunnen meer dan één alternatief aankruisen. Daarvan maakten de leerlingen inderdaad gebruik. Ook werd er gevraagd een toelichting te geven hetgeen in ca 70% van alle (89X19) antwoorden gedaan werd.

Aan de deelnemers van de werkgroep heb ik gevraagd in te schatten welke antwoorden leerlingen geven. Omdat het bespreken van 19 situaties veel te veel tijd vergde heb ik me beperkt tot situaties over brandstoffen en over bewegen. De nummers bij de volgende gegevens verwijzen naar de nummers van de vragen uit de vragenlijst.

situatie 13: benzine in een jerrycan

Alle deelnemers waren ervan overtuigd dat de situatie 'benzine in een jerrycan' voor leerlingen met energie te maken had. De meeste deelnemers dachten dat benzine voor leerlingen (een vorm van) energie is.

Uit de resultaten blijkt echter dat 44% van de leerlingen vindt dat die situatie niets met energie te maken heeft. Sommige leerlingen geven als toelichting: 'er ontstaat pas energie als je de benzine gebruikt'. Slechts 27% vindt dat benzine energie *is*. De rest vindt dat benzine energie *bevat*. Soortgelijke resultaten vonden we voor situatie 19: 'een reep chocolade'.

situatie 16: een steen die valt

De deelnemers aan de werkgroep realiseerden zich dat de relatie tussen vallen en energie in de leefwereld misschien minder vanzelfsprekend is dan we in de les geneigd zijn aan te nemen. Toch kwam het als een verrassing dat 53% van de leerlingen vindt dat deze situatie niets met energie te maken heeft. Enkele leerlingen lichten toe: 'de steen valt gewoon' of 'het valt door de zwaartekracht'. Maar meestal wordt er geen toelichting bij gegeven. 13% van de leerlingen vindt dat er bij vallen energie wordt verbruikt. Welke redenering daarachter steekt blijkt uit de toelichting: 'je moet hem loslaten': niet het vallen, maar het loslaten kost energie; het vallen gaat 'vanzelf' of 'door de zwaartekracht'.

situatie 17: een biljartbal die rolt

Veel deelnemers aan de werkgroep gingen er van uit dat snelheid voor leerlingen juist een blijk van energie is. Maar uit de vorige situatie blijkt eigenlijk al dat snelheid op zich voor leerlingen niets met energie te maken heeft. Dat vinden we ook bij de biljartbal terug: 40% van de leerlingen vindt dat deze situatie niets met energie te maken heeft. Nog eens 46% brengt het via 'verbruik' of 'geven' met energie in verband: er is energie 'verbruikt' of door de speler 'gegeven' bij het stoten van de biljartbal.

situatie 11: een auto die rijdt

Niemand van de deelnemers aan de werkgroep twijfelde er aan dat leerlingen deze situatie met energie in verband brengen. En terecht. Bijna alle leerlingen vinden dat er energie wordt verbruikt. Een derde van de leerlingen is bovendien van mening dat er energie wordt gegeven. En uiteraard vinden ze dat de benzine de energie geeft.

Deze resultaten geven aan dat de relatie tussen energie en bewegen die leerlingen leggen veel complexer is dan menig natuurkundeleraar denkt: er is geen sprake van energie vanwege de beweging zelf, maar vanwege het *veroorzaken* van de beweging. In het onderzoek dat ik bij leerlingen van 4/5VWO heb gedaan vond ik veel voorbeelden van problemen rond het begrip 'bewegingsenergie' of 'kinetische energie'. Veel leerlingen denken dat 'kinetische energie' de energie is die nodig is om een voorwerp te bewegen, waarbij zij geen onderscheid maken tussen in beweging brengen en in beweging houden. Daarbij speelt uiteraard ook de verwarring tussen energie en vermogen een rol. Maar het belangrijkste probleem vormt het denkbeeld van leerlingen dat energie op zich niet kan bestaan, maar altijd 'gegeven' wordt en onmiddellijk 'verbruikt' wordt. Ook in de bovenbouw van het VWO gebruiken veel leerlingen dat denkbeeld, maar meestal onherkenbaar voor leraren omdat het achter formeel taalgebruik en formules verscholen blijft. Met dat denkbeeld in het hoofd is het onmogelijk energie aan een voorwerp toe te kennen vanwege zijn beweging: een voorwerp kan geen energie 'hebben', maar alleen energie 'krijgen' en 'verbruiken' om te bewegen.

Voor het onderwijs betekent het voorgaande de noodzaak om de relatie te benadrukken tussen energie en dingen die 'vanzelf' gebeuren: vallen en 'energie krijgen', blijven bewegen en 'energie hebben' en tot stilstand komen en 'energie afgeven' aan de omgeving.

In mijn onderzoek heb ik gevonden dat soortgelijke problemen zich voordoen met warmte: veel leerlingen vinden dat afkoelen niets met energie te maken heeft (ook in de vragenlijst: 50% van de leerlingen).

Om de relatie tussen 'natuurlijke' processen en energie bij leerlingen te ontwikkelen zouden de volgende situaties in het onderbouwonderwijs aan de orde moeten komen:

- van een helling afrijden ('energie krijgen'), gevolgd door tegen een helling op rijden ('energie gebruiken);
- afkoelen (=warmte/energie afgeven aan de omgeving) hetgeen leidt tot opwarmen (=energie opnemen) van de omgeving;
- tot stilstand komen en het toenemen van de temperatuur (bij remmen) of versnellen van voorwerpen en omgeving (bij botsen).

Het leggen van deze relaties is een voorwaarde voor het ontwikkelen van een goed inzicht in 'energiebehoud'.

Bijlage:

Vragenlijst over energie

Beste leerlingen

Je vindt hierna een aantal situaties die kort aangegeven worden. We willen van jou weten of die situaties met energie te maken hebben of niet. Daarvoor moet je bij elke situatie één of meer cijfers aankruisen en een voorbeeld geven.

De situatie heeft volgens jou *niets met energie te maken*.
Kruis dan de 0 (nul) aan.

De situatie heeft volgens jou *wel iets met energie te maken*.

Kruis dan *één of meer* van de cijfers 1 t/m 5 aan:

- | |
|--|
| een 1 als er energie <i>verbruikt</i> wordt |
| een 2 als er energie <i>gegeven of geleverd</i> wordt. |
| een 3 als er iets is dat energie <i>is</i> . |
| een 4 als er iets is dat energie <i>heeft of bevat</i> . |
| een 5 als er energie <i>stroomt</i> . |

Bedankt voor je medewerking.

N.B.: Probeer bij elk antwoord een toelichting te geven.
Doe dat zo veel mogelijk met hele zinnen.

Naam:
klas:

Ik ben (kruis aan) een jongen
 een meisje

- | | | | | | | | |
|-------|-------------------------|---|---|---|---|---|---|
| 11 | Een auto die rijdt | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <hr/> | | | | | | | |
| 13 | Benzine in een jerrycan | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <hr/> | | | | | | | |
| 16 | Een steen die valt | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <hr/> | | | | | | | |
| 17 | Een biljartbal die rolt | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <hr/> | | | | | | | |

Beginnen met eigen experimenteel onderzoek (exo)

Werkgroep 13

R. van Haren

Na een korte inleiding wordt aandacht besteed aan de volgende onderwerpen:

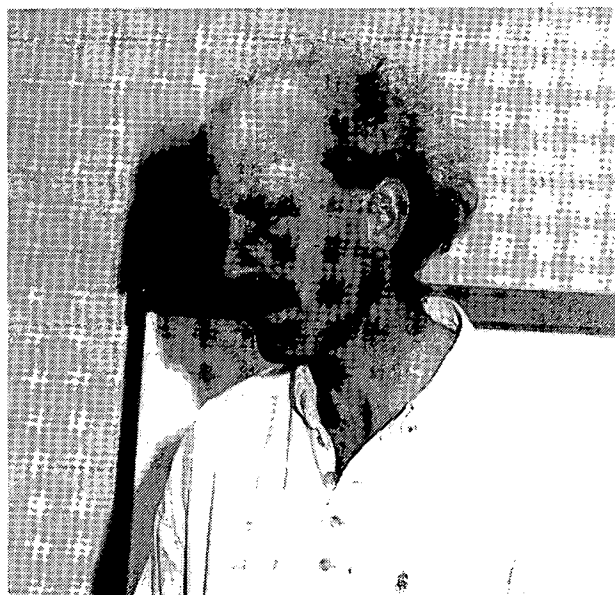
- EXO logboek;
- Beoordelingsmodellen;
- Ideeënbank;
- voorbeelden van EXO op verschillende scholen.

Een aantal scholen heeft al jaren ervaring met EXO. Het EXO (dikwijls open onderzoek genoemd) wordt door de scholen verschillend uitgewerkt. Een overeenkomst tussen deze verschillende uitwerkingen is het feit dat begeleiding én beoordeling gelijktijdig plaatsvinden doordat er (nog) geen tijd was in het programma voor een gedegen opbouw van onderzoeksvaardigheden.

De komende jaren zal een standaardmodel van EXO gestalte krijgen door de invulling die de scholen gaan geven aan de zelfstandige opdracht uit het examenprogramma. De vaardigheden voor EXO zullen worden opgebouwd in de vierde en vijfde klas, zodat in het eind-examenjaar voor de docent(e) tijdens EXO de taak van adviseren en beoordelen overblijft. Onder adviseren wordt hier nadrukkelijk verstaan dat de leerling vrij is om deze adviezen op te volgen en zodoende de zelfstandigheid van de leerling gehandhaafd blijft.

Het EXO logboek¹⁾ is door Didactiek Natuurkunde Nijmegen ontwikkeld in PBN2-verband. Het logboek funktioneert als een intermediair tussen docent en leerlingen, niet om het onderzoeksproces te structureren (dat moet de leerling zelfstandig beheersen), maar om de communicatie tussen docent en leerling te structureren. De voornaamste doelen zijn tijdwinst, overzicht en betrokkenheid.

Bij het bekijken van een aantal beoordelingsmodellen blijkt een grote verscheidenheid in het aantal beoordelingsmomenten, het aantal criteria en de normering (eventueel alleen accoordverklaring) daarvan. De docent(e) heeft een ruime keuze bij de samenstelling van de eigen beoordelingsprocedure. Deze keuze dient u van tevoren goed te overwegen zodat u de leerlingen vóór EXO kunt vertellen waar zij wat dit betreft aan toe zijn.



Enkele voorbeelden van door leerlingen in 91/92 uitgevoerde EXO's zijn in een ideeënbank ingevoerd en hierbij afgebeeld (zie bijlage). Leerlingen kunnen in deze ideeënbank gericht zoeken naar ideeën bijvoorbeeld vanuit een bepaalde hobby, natuurkundebelangstelling en experimenteel niveau. Docenten kunnen deze bank geheel voor zich houden maar ook bepaalde velden afsluiten voor leerlingen door een wachtwoord in te voeren.

In de discussie blijkt een grote belangstelling voor de ideeënbank te bestaan. Verder wordt erop gewezen dat de door leerlingen geïnvesteerde tijd beperkt gehouden moet worden, vooral als ook andere vakken op school deze werkzaamheden van leerlingen verlangen. Tenslotte wordt naar voren gebracht dat de zelfstandige opdracht voor immigranten extra barrières opwerpt.

¹⁾ Het EXO logboek is te bestellen bij de KUN, Didactiek der Natuurwetenschappen, Rob van Haren, Toernooiveld 1, 6525 ED Nijmegen.

Bijlage:

Titel: Kijken naar kijkers

Onderzoeksvraag: Blijft de lenzenformule van toepassing voor systemen met meer lenzen?

Natuurkunde gebied 1: 06. Licht
Natuurkunde gebied 2: -

Context gebied: SAMENLEVING
Omschrijving context: Verrekijker, microscoop, bril en contactlenzen.

Theoretisch niveau: *

Experimenteel niveau: **

Type onderzoek: r, -, -

Bijzondere benodigdheden:

Bron: Nijmegen, 90-91

nr: 17

Titel: Nagalmvolume

Onderzoeksvraag: Hoe hangt de nagalmtijd af van de grootte van de ruimte?

Natuurkunde gebied 1: 0.5 Geluid
Natuurkunde gebied 2: -

Context gebied: HOBBY
Omschrijving context: Luisteren naar muziek

Theoretisch niveau: ***

Experimenteel niveau: ***

Type onderzoek: r, -, -

Bijzondere benodigdheden:

Bron: Bommel, 90-91

nr: 19

Titel: Buigzaamheid van metalen

Onderzoeksvraag: Hoe hangt de doorbuiging samen met de dikte en lengte van het metaal en met de gebruikte metaalsoort en het gewicht dat eraan gehangen wordt?

Natuurkunde gebied 1: 02. Krachten, evenwicht
Natuurkunde gebied 2: -

Context gebied: BEROEPSUITOEFENING
Omschrijving context: Het bouwen van constructies

Theoretische niveau: **

Experimenteel niveau: ***

Type onderzoek: r, -, -

Bijzondere benodigdheden:

Bron: Bommel, 90-91

nr: 18

Titel: De rolweerstand van een racefiets bij verschillende banddrukken.

Onderzoeksvraag: In hoeverre heeft de banddruk invloed op de rolweerstand?

Natuurkunde gebied 1: 01. Bewegingen
Natuurkunde gebied 2: 03. Arbeid en energie

Context gebied: HOBBY
Omschrijving context: Wielersport

Theoretisch niveau: **

Experimenteel niveau: ***

Type onderzoek: r, h, -

Bijzondere benodigdheden:

Bron: Wageningen, 90-91

nr: 20

Van systematisch naar thematisch onderwijs

Werkgroep 15

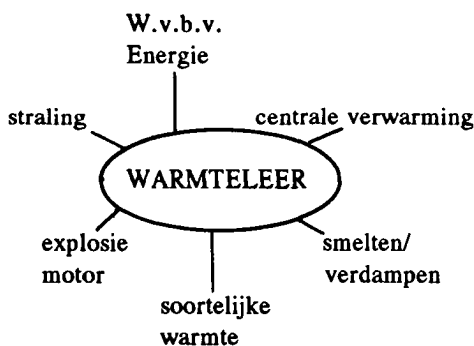
J. van Galen, K. Riswick & A. de Wever



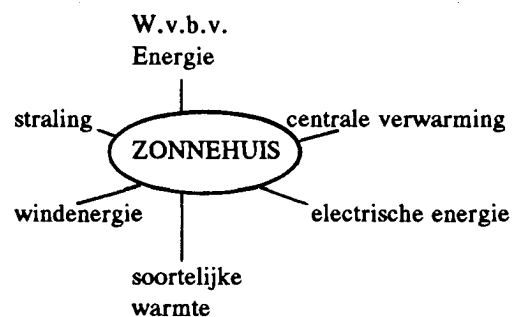
Het nieuwe WEN examenprogramma wijkt behoorlijk af van het oude. Niet alleen wat betreft de onderwerpen maar vooral ten aanzien van de doelstellingen en de omschrijving van de leerstof met contextbegrippen. Met deze nieuwe omschrijving heeft de WEN o.a. beoogd dat de schoolnatuurkunde beter toepasbaar wordt in maatschappelijke situaties: vaardigheden als kritisch lezen, standpunten formuleren, argumenteren op basis van fysische gegevens zijn nu ook onderdeel van het natuurkundeonderwijs. Door de contexten zal meer dan voorheen de natuurkunde behandeld worden in samenhang met omgeving en techniek. Wij denken dat een thematische aanpak van de leerstof beter hierbij aansluit dan een vaksystematische.

Aan de hand van een voorbeeld wordt het verschil tussen systematisch en thematisch onderwijs verduidelijkt.

Systematisch: Onderwerpen worden gerangschikt naar de systematiek van het vak. De logische vakstructuur is uitgangspunt om toepassingen en contexten te behandelen.



Thematisch: Onderwerpen worden gerangschikt rondom een "natuurlijk" samenhangend thema. Het thema is uitgangspunt om de systematiek van de natuurkunde aan te brengen.



Bij thematisch onderwijs is er een voor de leerlingen meer natuurlijke samenhang tussen de onderwerpen. Vanaf het begin kunnen zij meepraten over het thema en hebben goed inzicht waarmee ze bezig zijn. De lessen worden daardoor levendiger en nodigen uit tot discussie. Contexten komen op een natuurlijke wijze aan de orde. Voor de docent betekent dit een ander vertrekpunt in de lessen. Aan het begin van het thema is de inbreng van de leerlingen groter. De docent moet kunnen inspelen op allerhande vragen. Pas in de loop van een thema wordt de fysische samenhang tussen de behandelde onderwerpen voor de leerlingen duidelijk.

Een paar belangrijke verschillen tussen systematisch en thematisch onderwijs naast elkaar gezet:

Systematisch	Thematisch
- Leerstof gerangschikt volgens structuur van het vak	- Leerstof gerangschikt rondom een thema
- Fysisch logische context	- Context uit ervaring
- Een onderwerp komt één keer aan de orde	- Een onderwerp komt in verschillende thema's terug
- Structuur is logisch voor de docent	- Structuur is logisch voor de leerling
- Toepassingen: fysische situaties	- Toepassingen uit de praktijk
- Docentvriendelijk	- Leerlingvriendelijk
- Lesvorm vaak klassikaal	- Discussie en onderwijs-leergesprek

Vervolgens werd er in de werkgroep gediscussieerd over de wijze waarop het thematisch onderwijs in de methode EXACT NATUURKUNDE voor de bovenbouw was uitgewerkt.

Er werd o.a. gepraat over: De themaverdeling over de verschillende leerjaren. In klas vier wordt niet begonnen met mechanica omdat dit erg abstract is, maar met het Zonnehuis (warmteleer en gassen), dat beter aansluit bij de kwalitatieve natuurkunde van de onderbouw.

De mechanica is verdeeld in drie stukken, waarvan alleen het thema sport (60 lessen) in klas 4 aan de orde komt.

De samenvattingen aan het eind van elk thema, die de docent de gelegenheid geven om de hele leerstof ook nog eens in een meer fysische samenhang te presenteren.

Het practicumopgaven boek. Hierin worden in een overvloed aan vraagstukken de leerling getraind om vragen te beantwoorden binnen de context van het thema maar ook daarbuiten, om de transfer van de leerstof te waarborgen.

De opbouw van de practica, waarbij per thema het accent op een ander practicum vaardigheid ligt. Samen bereiden de practica in de loop van de hele cursus voor op een zelfstandig onderzoek.

Scoop en de WEN

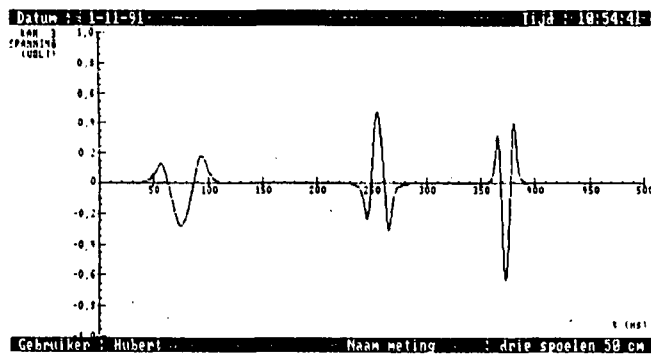
Werkgroep 16

H. Biezeveld & L. Mathot

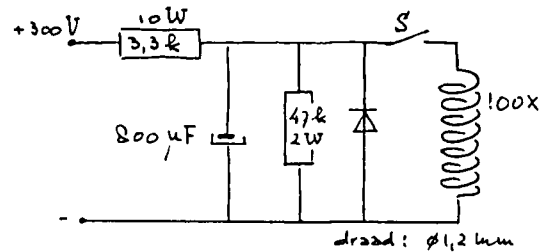


Tijdens de werkgroep werd de nieuwe versie van Scoop 5/6vwo en Fysische Informatica gepresenteerd. Dat gaf de deelnemers aanleiding tot vragen en opmerkingen over gemaakte keuzen en wij konden toelichtingen geven en tips over mogelijke behandelvolgorden; over het gebruik van de Toets en over het doen van proeven. Aan die proeven willen we de rest van dit verslag wijden.

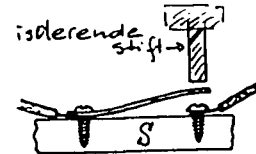
In Scoop 5havo zal een opgave verschijnen die iets afwijkt van de versie op bladzijde 140 in de nieuwe Scoop 5/6vwo. De hierbij afgedrukte IP-COACH registratie is gemaakt met één magneet die achtereenvolgens door drie spoelen viel. Hoe verklaar je de vreemde pieken?



De oplossing van het raadsel is dat de magneet N-Z-N gepoold is. Dit lukt met de opstelling die we een paar jaar geleden ook al lieten zien. Je ontlad een forse condensator door hem te verbinden met een spoel. Daardoor kun je een magneet zelfs ompolen. Als je een spoel hebt die uit twee tegen elkaar in gewikkelde delen bestaat, krijg je een magneet met twee noordpolen en een zuidpool in het midden. We raden iedereen aan zo'n apparaatje te maken. Het idee komt uit de School Science Review. Verder lieten we veel natuurkundig speelgoed zien en proeven die uit The Physics Teacher komen; negen collega's abonneerden zich op dit fraaie blad. De nummers achter de volgende proeven verwijzen naar Scoop 5/6vwo:



S strip fosforbrons die goed moet terugveren om inbranden te voorkomen.



- Voor de druppel water die al kokend bevrost hadden we een mini-luchtklok bij ons die je op de overhead-projector kunt zetten: een doos van stevig perspex die leeg te zuigen is. De druppel werkt als lens, maar hij wordt donker als hij bevroert. Je hoeft nu niet met de hele klas op een kluitje om de luchtklok te staan waarbij je toch niets ziet. (pg. 31)
- Laat een magneet en een stuk ijzer door een aluminium pijp vallen. De pijp koop je voor ca f 20,- bij een bouwmarkt. (pg. 139)
- Voor de schuddynamo hoeft u ons niet te bellen, want wij weten ook niet hoe het komt dat de twee sporen ongelijk zijn. De oplossing van het raadsel graag naar het NVON-blad. (pg. 159)
- De opstelling voor herhalingsopgave nr. 24 is goed na te maken. Snijd een pingpongballetje open en schilder op een binnenkant een netvlies met gele vlek en wat bloedvaten. Maak in de andere helft een 'pupil' en lijm aan de binnenkant een (postzegel)loepje. Snijd desnoods wat van het celluloid af zodat het netvlies in het brandvlak van de loep terecht komt en lijm de bal weer dicht. Je hebt nu een prachtig kunstooog waarvan je het netvlies kunt bestuderen. (pg. 331)

Beoordeling Open Onderzoek

Werkgroep 20

F. Budding & K. Hellingman



Hoe beoordeel je verslagen of presentaties van vrije onderzoeksopdrachten?

Deze vraag is behandeld tijdens de zaterdagmiddaglezing "Open onderzoek" (zie elders in dit conferentieverslag voor de tekst van deze lezing).

Een lijst met beoordelingscriteria, opgesteld door een werkgroep van collega's uit de kringen Zwolle en Twente en gepubliceerd in het NVON-maandblad van oktober 1991 (16^e jaargang, nr. 8) is aan de deelnemers van de conferentie-werkgroep voorgelegd, samen met een ter plaatse uitgedeeld verslag dat door leerlingen van hun open onderzoek geschreven was. Ieder kreeg de opdracht om het verslag aan de hand van de criterialijst te beoordelen, die voor dat doel voorzien is van een scorelijst. Dezelfde exercitie is op de Woudschotenconferentie '90 gehouden met een proefversie van deze lijst (zie het betreffende conferentieverslag, blz.92). Evenals toen zijn nu de beoordelingen van de verschillende collega's met elkaar vergeleken en enkele verschilpunten besproken. De overeenstemming in beoordeling tussen de verschillende collega's blijkt over het algemeen redelijk; toch liggen de uitersten wel een 12 punten uit elkaar, bij een gemiddelde toegekende score van 45. Voor het gebruik waarvoor de lijst bedoeld is, levert dit echter geen problemen op. Het is immers de bedoeling dat één leraar een aantal verslagen beoordeelt, en niet een aantal leraren één verslag. Voorts is het te verwachten dat binnen de situatie van één school verschillende natuurkundecollega's na eenzelfde exercitie al snel meer op één lijn zullen zitten. De lijst zal dan eens te meer in een behoefte voorzien. De belangrijkste doelen van de lijst zijn immers

- houvast voor de leraar bij de beoordeling
- duidelijkheid naar de leerlingen toe en houvast bij klachten hunnerzijds.

De deelnemers aan de werkgroep waren het erover eens dat de lijst aan deze doelen voldoet.

In de bespreking kwam ook naar voren dat de lijst als lang en het werken ermee als moeizaam wordt ervaren. De samenstellers van de lijst hebben de ervaring dat deze klachten in het gebruik al snel verdwijnen. Ook hier een kwestie van WENnen.



"Examenvragen in context"

Werkgroep 22

H. Joosten



Op het Cito bestaat sinds 1988 een werkgroep die zich bezig houdt met de ontwikkeling van functionele examenvragen. Hieronder verstaan wij vragen waarbij niet gevraagd wordt naar de beheersing van academische vakinhouden, maar vragen waarbij de leefwereld van leerlingen een rol speelt. Kortom, vragen die aansluiten bij de huidige trend om het onderwijs in natuurwetenschappelijke vakken meer dan voorheen te richten op die kennis en vaardigheden die zinvol en bruikbaar zijn in het dagelijks leven.

Het gaat er daarbij om dat zodanige contexten worden gekozen dat de leerlingen in staat worden gesteld te laten zien dat zij vakinhoudelijke kennis kunnen gebruiken om 'levensechte' problemen op te lossen.

We hebben een zestal maatschappelijke vaardigheden ontwikkeld:

1. verwerken van schriftelijk aangeboden informatie
2. argumenten hanteren
3. werkplan opstellen
4. toepassingen aangeven
5. overdracht van kennis/communicatie
6. kennis over context.

Daarna zijn er bij natuurkunde, scheikunde en biologie een groot aantal opgaven samengesteld. Deze opgaven zijn in het voorjaar van 1991 gepretest op leerlingen in examenklassen van het voortgezet onderwijs. Het doel van de pretest was een onderzoek naar moeilijkheidsgraad, beoordeelbaarheid, efficiëntie, specificiteit, correlatie met tekstbegrip nederlands en aanwezigheid van sexe-bias.

Tijdens de werkgroep hebben de deelnemers kennis kunnen nemen van de aard van deze 'nieuwe' generatie opgaven en de eerste resultaten van de pretest. Ook is er uiteengezet tegen welke problemen men aan kan lopen.

Ondanks dat deze opgaven bij de leerlingen en leraren in de smaak vielen, vereisen deze vragen geheel andere vaardigheden van leerlingen dan tot nu toe. We noemen bijvoorbeeld de vergrote claim op lees- en schrijfvaardigheid. Ook kosten de vragen meer tijd per te behalen scorepunt. Uiteraard zijn de leerlingen nog niet getraind in het maken van dit soort opgaven en de leraren nog niet in het corrigeren ervan. We verwachten dat als het

nieuwe WEN-programma eenmaal goed is ingevoerd, dit soort functionele opgaven steeds meer in de klas gebruikt gaan worden en langzaam maar zeker ook in examens verschijnen.

Medio 1992 verschijnt ons eindrapport met voorbeelden van opgaven, conclusies en aanbevelingen.

"He, de zon raakt op" een alternatieve benadering van het energieonderwijs in de boven- bouw

Werkgroep 23

*C. van Huis, E. van den Berg
& H. van Riet*



Onderzoeksresultaten t.a.v. Blok 9, 'energie' uit DBK-natuurkunde voor de bovenbouw.

Opgave 11b Teken de energiebalans van de zon

W: U_{kern} neemt af.

S: Dan houdt het straks op.

B: Ja, dan houdt het straks op.

(gelach).....

S: Dat kan niet kloppen.

S + W: Dan blijft het constant. Ja, dan blijft het gelijk.

.....

W: Dan neemt U_{inv} toe.

S: Maar dan raakt de zon toch op?

'De zon raakt op', dat was de onverwachte conclusie van drie 4-havo leerlingen, die met blok 9 van de DBK-methode hadden leren werken met een boekhoudmodel van energie (Licht, van Huis 1991).

Daarbij definiëren ze een systeem, bijvoorbeeld de zon, en bekijken ze de energiestromen 'in' en 'uit' het systeem. Bij het energieboekhouden streven we niet naar een continue conceptontwikkeling vanuit intuïtieve leerlingeneeën naar meer fysisch verantwoorde ideeën. In tegendeel, we vinden de leerlingeneeën te verwarrend en reiken ze een bepaald model 'energie als boekhoud-grootheid' aan. We hopen dat leerlingen door de vele en gevarieerde toepassingswijze van dat model tot een beter begrip van energie komen. Veel leerlingen blijken dan op interessante ideeën te komen. Het bovenstaande discussiefragment laat zien dat de zon inderdaad doorbreekt door de nevel van leerlingeneeën.

Kenmerk van de nieuwe aanpak:

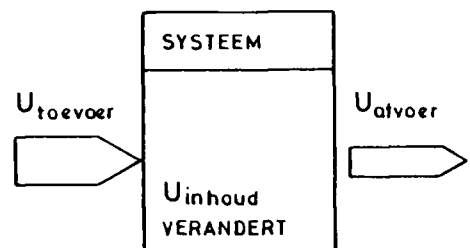
1. In veel bovenbouw-schoolboeken komt het energiebegrip bij de verschillende leerstofgebieden (vakinhoudelijke eilanden) nogal geïsoleerd aan bod, terwijl dit begrip juist zo geschikt is om deze leerstofgebieden te

verbinden. De methode probeert hiertoe een aanzet te geven.

2. Centraal staat de wet van behoud van energie, in de vorm

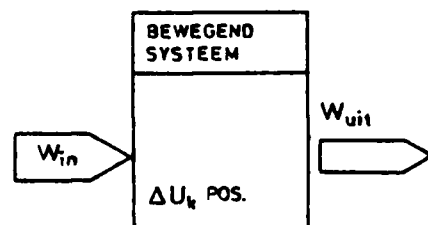
$$\Sigma U_{toevoer} - \Sigma U_{afvoer} = \Delta U_{inhoud}$$

die door middel van een systeendiagram wordt gepresenteerd.



3. Deze systeembenadering staat centraal. Leerlingen wordt geleerd een systeem te kiezen en voor dat systeem de energiebalans op te stellen met behulp van een systeendiagram. Een beter inzicht in wat er nu precies aan de hand is, zal naar verwachting, het resultaat zijn.
4. Deze systeembenadering, toegepast op de mechanica van bewegende voorwerpen, levert de wet van behoud van kinetische energie en arbeid op. Deze krijgt dan de vorm:

$$\Sigma W_{toevoer} - \Sigma W_{afvoer} = \Delta U_{kin}$$



- Het blok energie is voor de kinematica en de dynamica geplaatst. Het voordeel hiervan is dat veel bewegings-vraagstukken vaak makkelijker met de energie-aanpak op te lossen zijn dan met de dynamische aanpak (tweede wet van Newton). Het begrip kracht hebben de leerlingen in een voorgaand blok statica behandeld gekregen en in meer algemene zin in de tweede klas.
- Er is gekozen voor een strakke opbouw van de stof. Contexten komen via een groot aantal vraagstukken aan de orde.

Onderzoekprogramma voorjaar 1991

Van april tot juni 1991 werden onderzoeksgegevens verzameld in een 4 havo- en een 4 vwo- klas van het Pieter Nieuwlandcollege te Amsterdam. Het onderzoek was in deze fase exploratief van karakter. Getracht werd meer te weten te komen over:

- welke moeilijkheden leerlingen ondervinden bij het omgaan met essentiële toevoer-, inhoud- en afvoer-energiesoorten bij diverse processen; het begrip arbeid etc.;
- vakvaardigheden van leerlingen t.a.v. het oplossen van vraagstukken m.b.v. de aangeboden 'systeembenedering';
- de relatie tussen de oplossingsvaardigheid van leerlingen en hun vaardigheden om 'formele problemen' aan te pakken.

In dit verslag komen met name resultaten t.a.v. punt a. aan de orde. Deze resultaten werden verkregen uit:

- geluidsbandopnamen van groepjes van drie leerlingen (één havo- en één vwo-groepje) die met elkaar opgaven uit het cursusmateriaal aan het oplossen zijn
- interviews met enkele leerlingen
- schriftelijke antwoorden van leerlingen op huiswerk-opgaven
- korte tests tijdens de rit om specifieke juist behandelde vakvaardigheden te toetsen
- eindtoets voor alle leerlingen (deze eindtoets werd door docent en onderzoeker samen opgesteld).

Erg veel materiaal is verzameld. De leraren, Hans van Dijk en Hans van Riet, waren erg geïnteresseerd en hebben veel tijd beschikbaar gesteld.

Enkele uitkomsten

1. Steun van systeemaanpak

In veel gevallen blijken leerlingen inderdaad steun te ondervinden van de systeemaanpak. Het basisidee van deze aanpak wordt niet moeilijk gevonden. Bij het oplossen van nieuwe vraagstukken wordt gekeken wat deze aanpak oplevert. Soms komen ze daarbij op boeiende gedachten.

Voorbeeld: 'De zon'.

Drie havo-leerlingen waren het over het volgende eens: $U_{\text{toevoer}} = \text{niets}$, $\Delta U_{\text{inhoud}} = \Delta U_{\text{keram}}$, $U_{\text{afvoer}} = U_{\text{dr}}$ + Q
Tot hun schrik concludeerden zij dat dan de zon op zou raken. Dat kon niet. Ze zochten dan ook naar een ad hoc verklaring: Er is ook nog U_{inv} . Achteraf werd makkelijk aanvaard dat U_{keram} inderdaad afnam. Maar hoe zit het nu

met U_{inv} . vroegen ze zich af. Neemt de temperatuur van de zon ook niet af?

Voorbeeld: 'De zonnecel'.

Weer drie havo-leerlingen schrijven op: $U_{\text{toevoer}} = U_{\text{dr}}$, $U_{\text{afvoer}} = U_{\text{el}}$, $\Delta U_{\text{inhoud}} = 0$

Uel wordt gebruikt om een lampje te laten branden.

Vervolgens vroeg men zich af wat er zou gebeuren als men het lampje uitdeed. De zonnecel levert dan geen elektrische energie. Wat gebeurt er dan met de stralings-energie? Wordt de zonnecel warmer of absorbeert hij geen zonlicht meer? Dit zijn lastige maar boeiende vragen voor een natuurkunde-leraar. Het interessante hieraan is dat de systeemaanpak kennelijk dit doordenken stimuleert!

Voorbeeld: 'Het stopcontact'

Indien wordt gevraagd naar de energiebalans van het stopcontact, wordt geantwoord: er gaat evenveel elektrische energie in als eruit gaat. Het stopcontact zelf neemt niets op. Echter in navolging van de zonnecel die niet aangesloten staat, vraagt men zich af of het stopcontact toch geen elektrische energie heeft. Want als je je vinger er in steekt 'krijg je een opdonder'.

2. Systeemkeuze

In het algemeen hebben leerlingen weinig moeite met de keuze van een geschikt systeem. Als er onenigheid is over de uitkomst van een bepaalde opgave, is dat vaak te herleiden tot het verzuimd hebben duidelijke afspraken ten aanzien van de systeemkeuze te maken. Bijvoorbeeld de centrale verwarming in een huis. Zijn dat uitsluitend de radiatoren, of is dat het circulatiesysteem zonder de kachel, of het circulatiesysteem met kachel.

Met sommige 'gekunstelde' ingewikkelde systemen hebben sommige leerlingen wel moeite bijv. het systeem 'kolenmijn + kolengestookte elektriciteitscentrale + gloeilamp' of het systeem 'huis zonder verwarming', of het systeem 'auto zonder motor'. Het verdient daarom aanbeveling de systeemgrenzen zoveel mogelijk met echte 'fysieke' grenzen te laten samenvallen.

3. Benoemen van de drie typen energieën: toevoer-, afvoer en inhoudsenergieën

Toch is de systeembenedering niet iets wat alle leerlingen probleemloos overnemen. Er wordt van hen gevraagd om heel precies het systeem te definiëren, daarover een opgave maken, vervolgens de toevoer-, invoerenergieën te benoemen en ten slotte de energie-vergelijking op te schrijven. Leerlingen hebben vooral moeite met het aangeven van welke nu precies de inhouds- en welke nu de afvoer- en toevoer-energieën zijn. Dit kan samenhangen met een verkeerde interpretatie van wat er nu precies aan de hand is. Soms komt dit omdat men de oorzaak van het proces met de invoerenergie associeert.

Voorbeeld: 'Een door een veer opgewonden rijdende speelgoedauto'

Is de veerenergie nu toevoer-energie of inhouds-energie? Veel leerlingen denken het eerste?

Voorbeeld: 'Een rijdende auto'

Veel leerlingen noemen als toevoerenergie de chemische energie van de benzine. Het kan zijn dat hier ook de systeemkeuze in het geding is.

Anderzijds wordt een afname van een energiesoort, geassocieerd met een afvoer van die energiesoort.

Bijvoorbeeld de rijdende auto: De chemische energie van de auto verlaat het systeem auto, want deze wordt toch minder.

Het betekent ons inziens dat tijd besteed moet worden aan het omgaan met deze systeembenadering, wil het goed bij leerlingen aanslaan. Of dit het waard is moet worden afgewogen tegen het feit dat deze benadering op zich niet rechtstreeks eindexamenstof is en in hoeverre voordelen van de systeembenadering zichtbaar worden in andere delen van het examenprogramma (bijvoorbeeld bij de warmteleer).

4. Behoeft aan duidelijke afspraken t.a.v. benoeming van energiesoorten

Ook duidelijke afspraken over de verschillende soorten energie zijn nodig. De meeste leraren en methoden benoemen de diverse energie-soorten nogal losjes. In sommige gevallen kan dat ook. Maar soms leidt het tot inconsequenties die door leerlingen worden opgemerkt. Met name wat betreft de volgende zaken:

a. Stralingsenergie, lichtenergie en warmte

Leerlingen leren dat warmte-transport op 3 manieren plaats kan vinden: stroming, geleiding en straling.

Geven we alledrie met het symbool Q aan, of staat Q voor warmtegeleiding en U_{str} voor de stralingsenergie? Is $U_{straling}$ hetzelfde als U_{licht} of bestaat $U_{straling}$ uit U_{licht} (zichtbaar gedeelte van het spectrum) en Q (warmtestraling). Ons voorstel is om duidelijker af te spreken dat Q voor stroming en geleiding gebruikt wordt en $U_{straling}$ voor warmtestraling. U_{licht} , als synoniem van $U_{straling}$ liever niet gebruiken.

Bijvoorbeeld in voorbeeld 1 schreven de meeste leerlingen als afvoer-energie van de zon: $U_{afvoer} = U_{str} + Q$, anderen weer $U_{str} + U_{licht} + Q$. Wij zouden zeggen dat Q al in U_{str} begrepen is. Zonnewarmte is equivalent met de stralingsenergie. Sommige leerlingen schreven alleen Q op en beargumenteerden dat met te zeggen dat U_{str} al in Q begrepen zit, omdat warmte-transport op drie manieren kan voorkomen: stroming, geleiding en straling.

b. inwendige energie of thermische energie?

In de gebruikte DBK-methode wordt de term inwendige energie gebruikt. Leerlingen blijken sterk geneigd om voor inwendige energie 'inhoudsenergie' te lezen. Men noemt de chemische energie van een batterij dan inwendige energie, wat volgens de methode niet mag. Ons voorstel is, om de term thermische energie te gebruiken. Tegenover leerlingen is deze term veel duidelijker. Formeel geldt ook dat de thermische energie de som van de ongeordende kinetische en potentiële energieën van de moleculen is. Terwijl de inwendige energie de som van ongeordende en geordende kinetische en potentiële energieën is. Voor een ideaal gas in een fles die beweegt is de thermische energie dan het totaal aan ongeordende kinetische energie t.o.v. het zwaartepunt. De inwendige energie het totaal aan kinetische energie t.o.v. het laboratorium. Deze is gelijk aan totale thermische energie van de moleculen

plus de kinetische energie t.g.v. de verplaatsing van het zwaartepunt van alle moleculen (Dus de kinetische energie van de ongeordende beweging plus die van de geordende beweging).

c. Onderscheid tussen energie en arbeid

Omdat de methode arbeid expliciet als toevoer- en afvoere-energiesoort definiëert, wordt voor veel leerlingen het onderscheid tussen arbeid en energie bijzonder klein. Dit komt dan naar voren in de notatie die zij bezigen. Bijvoorbeeld als een treinwagon door grote veren wordt afgeremd, dan wordt door leerlingen vaak U_{weer} i.p.v. W_{weer} als afvoere-energie opgeschreven.

5. Contexten

Leerlingen maken veel fouten omdat zij de contexten niet goed kennen. In opgaven wordt veelal gevraagd om de energiebalans in tal van onbekende situaties (contexten) toe te passen. Bijvoorbeeld een batterij-oplader. Veel leerlingen denken dat deze oplader chemische energie aan de batterij levert, of het voorbeeld van de zon en zonnecel hierboven. Ook zijn er leerlingen die denken dat in een transformator chemische energie zit opgeslagen. Als wij contexten belangrijk vinden, dan vereist dat expliciete aandacht. Plaatsing van contexten in opgaven bevordert dit niet, tenzij deze opgaven goed uitgewerkt worden.

6. Misconcepties

Er kwamen duidelijke misconcepties voor. Bijvoorbeeld: Voor een éénparige beweging is een voortdurende omzetting van brandstofenergie nodig in kinetische energie. Kinetische energie is datgene wat het systeem verlaat, terwijl brandstofenergie er in komt. Deze misconceptie heeft te maken met het alom aanwezig idee, dat voor de instandhouding van een éénparig rechte lijnige beweging, ook bij afwezigheid van tegenkrachten, energie nodig is, of in een andere variant een resulterende kracht nodig is.

7. Gebruik Δ -teken; tweetrapsmodel versus drietrapsmodel?

Veel leerlingen hebben moeite om het Δ -teken voor de inhoudsenergieën consequent te hanteren. Hier zou achter kunnen zitten dat leerlingen 'geneigd' zijn gebruik te maken van een 2-traps model (oorzaak en gevolg; aanvoer en afvoer) i.p.v. drietrapsmodel (aanvoer, inhoud en afvoer). Bijvoorbeeld:

Kookplaatje: je stopt er elektrische energie in en er komt warmte uit.

Auto: je stopt er chemische energie in en er komt beweging uit.

Fietser: er komt spierkracht(energie) in en bewegingsenergie uit.

Er dienen ook t.a.v. het gebruik van het Δ -teken duidelijke afspraken gemaakt te worden. Leerlingen vragen bijvoorbeeld of je bij elektrische energie, bijvoorbeeld voor de elektrische energie die een lamp verbruikt, ook geen ΔU_{el} moet schrijven. Ons voorstel is om dat niet te doen, om het Δ -teken alleen voor inhoudsenergieën te reserveren. Onder U_{el} wordt dan de elektrische energie verstaan die door een apparaat wordt verbruikt. Formeel dient ons inziens eigenlijk van elektrische arbeid gesproken te

worden, n.l. de arbeid die door het elektrisch veld op de ladingsdragers wordt verricht.

8. Arbeid en warmte uitsluitend als toevoer- en afvoer-energiesoorten

Een aantal zaken laat zich door leerlingen na slechts enkele oefeningen probleemloos benoemen.

- a. Men heeft er geen moeite mee om arbeid uitsluitend als toevoer- en afvoer-energie te zien en niet als inhoudsenergie.
- b. Hetzelfde geldt voor warmte. Warmte en inwendige/thermische energie worden weinig door elkaar gehaald.

Conclusie

De systeemaanpak stimuleert het denken van leerlingen over energieprocessen. Leerlingen moeten echter wel voldoende in het gebruik van de systeemaanpak worden getraind.

Literatuur

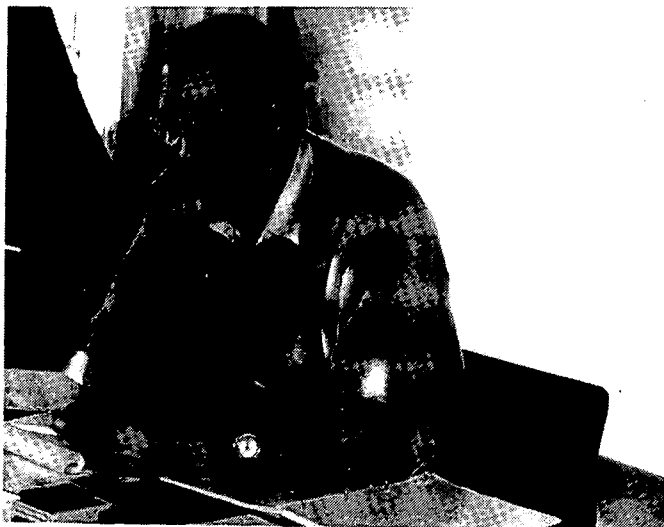
Het gaat hier om blok 9 'Energie' als onderdeel van de DBK bovenbouwmethode met de titel 'Natuurkunde in Blokken'.

Licht, P. & C. van Huis (1991) 'Energie in klas 4: een alternatieve aanpak', *NVON-maandblad*, 4, 125-129.

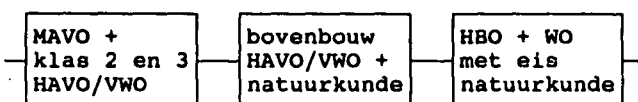
De terugkoppeling naar de onderbouw

Werkgroep 25

P.J. Wippoo



Zegt het volgende blokschema U iets?



Het nieuwe examenprogramma heeft gevolgen voor en stelt eisen aan elk van de drie blokken.

Het toevoegen van nieuwe onderwerpen (en het schrappen van oude) is het meest concreet. Daarbij hoeft de cultuur van het lesgeven niet te veranderen. Voor een aantal nieuwe doelstellingen moet dat wel. Het streven om meer leerlingen meer natuurkunde mee te geven vraagt een doordachte aanpak. Daarbij moet rekening worden gehouden met knellende randvoorwaarden, bescheiden faciliteiten, en een traditie van min of meer routinematig onderwijs.

Het woord 'natuurkunde' roept bij het grote publiek een beeld op met terechte en onterechte vooroordelen. Een actie als 'Kies Exact' had wel als doel om vooroordelen ter discussie te stellen, maar riep daarbij een beeld op, dat nauwelijks aansprak. Het onderwijs worstelt al jaren met de paradoxale situatie, dat leraren (die dagelijks leerlingen meemaken) geen faciliteiten hebben om hun ervaringen om te zetten in goede plannen, terwijl vrijgestelde plannenmakers snel doordraven, zodra ze niet meer dagelijks leerlingen hoeven te motiveren.

Een combibaan (14 uur lesgeven, halve weektaak om te werken aan nieuw onderwijs) levert het beste rendement, als de persoon in kwestie over voldoende talent en organisatievermogen beschikt.

Met een dubbele combibaan (28 uur lesgeven plus uitvoerende taken voor 'het vak') zit ik aan een plafond, en moet ik bescheiden zijn in mijn wensen. Dus geen claims of beloften:

mijn volgende opmerkingen gelden voor betere tijden. In de echt voorbijgane jaren zeventig is het begrip 'context' in de natuurkunde ingevoerd. Hiermee zou iedereen met een begrip waar het over gaat, en dus de natuurkunde

toegankelijker worden voor leerlingen, die tot dan afhaakten.

Omdat 'de leerling' geen vast gegeven is, is een geschikte context dat ook niet. Bovendien verandert de leefwereld van leerlingen zodanig, dat duidelijk sprake is van modeverschijnselen. Onderzoekers, die niet meer dagelijks leerlingen in hun omgeving zien, zijn vaak stil blijven staan bij hun ervaringen uit vervlogen tijden. Een universitair medewerker hield twee jaar geleden een enquête naar de vrijetijdsbesteding van leerlingen, en was verrast door de uitkomst, dat eindexamenkandidaten hun weekendbaantje in het examenjaar niet laten schieten. Speciale aandacht heeft het denken over - beter gezegd voor - meisjes. In het nieuwe examenprogramma havo/vwo zijn onderwerpen toegevoegd, omdat die de meisjes zouden aanspreken. Om niet de indruk te wekken, dat het niveau hierdoor zou dalen, zijn die onderwerpen zodanig ingevuld, dat zwakke leerlingen (en dat zijn in de praktijk vaak meisjes) er een extra zware dobber aan hebben. De resultaten van de eerste examens voor de havo met nieuw programma duiden op verkeerde inschattingen van de onderwijspraktijk. 'De meisjes' scoren slechter bij alle vergelijkingen. Zelf ben ik daar niet verbaasd over. Ik zal dat toelichten aan de hand van voorbeelden.

Het wereldbeeld van leerlingen ontstaat door persoonlijke ervaringen, door lessen op school en via de televisie.

In een klas zitten leerlingen, die over van alles vragen stellen, leerlingen, die wel geïnteresseerd zijn, maar geen vragen durven te stellen, en leerlingen, die nooit vragen hebben. Die laatste categorie raakt het eerst verloren voor de natuurkunde. Een voldoende cijfer is de enige motivatie om te leren, en het liefst leert men feitjes.

In een overvolle klas (de praktijk in 2 en 3 havo op de meeste scholen) lukt het niet om die leerlingen op te peppen tot eigen initiatief. Met persoonlijke aandacht, een zorgvuldige keus van leerstof en methode van presenteren, zijn wel successen te boeken. Een methode moet dan handreikingen geven om voor een schijnbaar moeilijk probleem een 'makkelijke' oplossing te vinden. Het moeilijk vinden van een opgave blijkt vaak te berusten op een

onvoldoende ondergrond van basisschoolkennis. Het rekenen met breuken, machten van 10 en voorvoegsels zijn vaak de drempel waar sommige leerlingen niet meer overheen kunnen, terwijl hun talent voor echte natuurkunde geen kans meer krijgt.

De geïnteresseerde leerling moet gestimuleerd worden en gestimuleerd blijven. Het taalgebruik van schrijvers verdraagt meestal de achtergrond van het onderwijs, dat ze zelf hebben genoten. Ook de wiskunde bevat nog vele rudimenten van oude onderwijsculturen. In onze digitale tijd is een hoek van $0,7853982$ rad niet meer te herkennen als een hoek van $\frac{1}{4}\pi$ rad oftewel 45° . Van 'bekende' getallen, zoals de omtrek van de aarde, de dichtheid van water, de definitie van SI-eenheden onthouden leerlingen wel de getalswaarde, maar niet het historische verhaal van de afleiding. Ook hierbij blijkt training nodig en succesvol, om leerlingen aan te leren een goed lopend verhaal te formuleren. Beloning met een goed cijfer van een mooi verzorgd schrift helpt om vol te houden.

Door in de onderbouw de aandacht te verleggen van feitjes naar begrijpelijke ontdekkingen, ontstaat op school een context waar een leraar op kan bouwen. Er is nauwelijks een maatschappelijke context, die voor alle leerlingen zo vertrouwd is, dat uitleg overbodig is. Juist het moeten uitleggen van een situatie aan een deel van de klas, remt het proces van zelfontplooiing. Als in het programma veel van die contextsituaties zijn opgenomen, zal een leraar gauwer neigen tot doceren. Hierdoor wennen de leerlingen er weer aan, dat alles wordt uitgelegd, en worden ze weer minder zelfstandig.

Het gat tussen de toekomstige basisvorming en het nieuwe examenprogramma moet gevuld worden met goedgekozen leerstof.

Mede vanwege de aansluiting 3 havo - 3 mavo is behandeling van mechanicaonderwerpen in 3 havo in enkele leerboeken al normaal. Zo zal daar steeds meer klassieke leerstof verdwijnen om plaats te maken voor een nulde ronde bovenbouwstof. Ten opzichte van de tijd van Schweers en van Vianen komen de elektrostatica, de lichtbreking, allerlei gaswetten nauwelijks nog aan bod. Naast deze onderwerpverschuiving moet ook de blik geworpen worden op de periode ná het nieuwe examen. Wat kunnen nieuwe leerlingen met hun nieuwe kennis? Het 'harde' HBO sluit gevoelsmatig pedagogisch het beste aan bij de oude HBS. Daar hoeft je dan al die vernieuwingen niet voor te bedenken.

Het kan dus heel goed zijn, dat meisjes geen natuurkunde kiezen, omdat er in de praktijk nog te weinig emplot voor is.

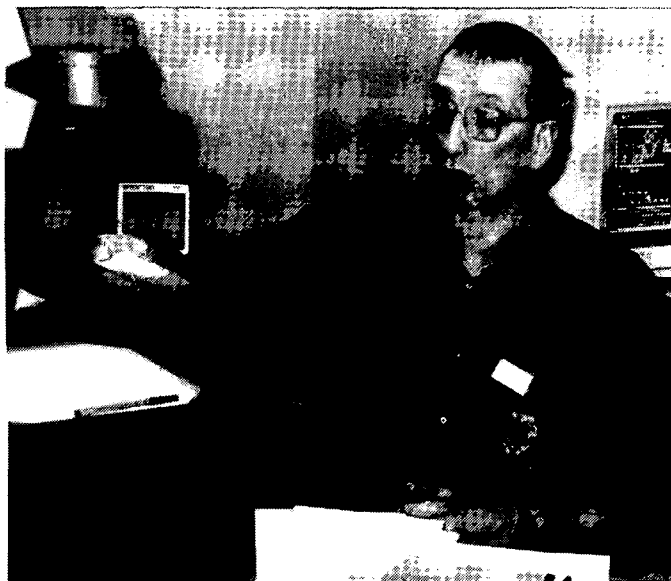
Als basis voor een algemeen vormende vervolgopleiding (pabo, maatschappelijke beroepsopleidingen) is het wél nuttig dat er meer leerlingen komen met natuurkunde in hun pakket. De geïnteresseerde, wetenschappelijke manier van werken, plus een inzicht in natuurlijke verschijnselen, kunnen zo'n weerslag op de maatschappij krijgen, dat een opwaartse spiraal ontstaat.

Maar wat nuttig is voor de leerling-met-natuurkunde, is dat ook voor de onderbouwleerling, die na de derde klas niet verder studeert.

NME in de praktijk van de natuurkunde

Werkgroep 26

P.v.Meeuwen & G.Stolwijk



In een gezamenlijk project van NME-instellingen als IVN en SME en verzorgingsinstellingen als SLO, CITO en de LPC wordt gewerkt aan de invoering van Natuur en Milieu-Educatie in het reguliere onderwijs. Binnen het project zijn twee sporen te onderscheiden: het ontwikkelen van leerplannen en blauwdrukken op basis van NME doelen en kernbegrippen én het uitvoeren van invoeringsgerichte activiteiten door een achttal stimuleringsgroepen. De verschillende stimuleringsgroepen richten zich op de vakken geschiedenis, aardrijkskunde, natuurkunde, scheikunde, biologie en techniek alsmede op het basisonderwijs en de school(leiding). Binnen de stimuleringsgroepen bestaat deskundigheid op het gebied van leermiddelen, leerplannen, NME en ondersteuning.

De stimuleringsgroep-na richt zich op de lessen natuurkunde in de onderbouw waarbij natuur en milieu dienen als context bij uitstek voor een groot aantal natuurkundige onderwerpen.

De stimuleringsgroep wil de invoering van NME bereiken door:

- in overleg te treden met auteurs en uitgevers en er zo voor te zorgen dat NME wordt opgenomen in nieuw te ontwikkelen methodes.
- docenten aan te zetten tot het ontwikkelen van NME-activiteiten binnen de normale lespraktijk

Voor een groot aantal docenten is het eindexamen het uitgangspunt voor het onderwijs; de gehanteerde methode is daarbij een belangrijk middel. Uit een analyse van bestaande methodes is gebleken dat deze geen of nauwelijks elementen van NME bevatten.

De stimuleringsgroep heeft op basis van de kerndoelen en het WEN-examen een viertal clusters aangegeven die zich in het bijzonder lenen voor NME, te weten:

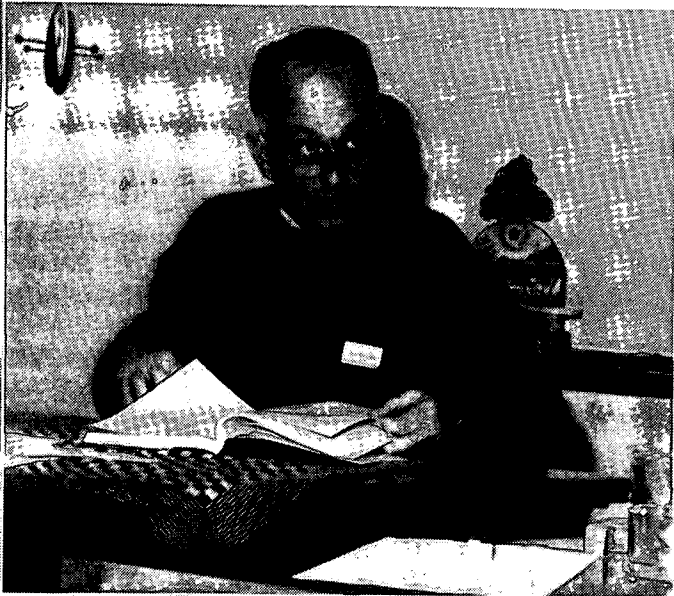
- het gebruik van water;
- het gebruik van energie;
- geluidshinder en
- ioniserende straling.

Tijdens de werkgroep is getoond hoe leerlingen zowel praktisch als theoretisch, incidenteel maar ook projectmatig met natuur en milieu bezig kunnen zijn. Een eenvoud-

dig vergelijkend onderzoek tussen koken op gas en elektrisch koken laat zien dat het bij NME niet alleen gaat om kennis en inzicht maar ook om het maken van keuzes. Uit een meerdaags project "duurzame ontwikkeling" met natuurkundige (energie), aardrijkskundige (landschapontwikkeling) en biologische (evolutie) elementen komt de samenhang tussen de vakken naar voren en blijkt het complexe karakter van de problematiek. In de bovenbouw biedt het onderwerp 'gassen' de mogelijkheid tot NME door met DMS het ontstaan van luchtverontreiniging en smog te stimuleren en de effecten van uitstootbeperkende maatregelen te bekijken.

Uit een enquête onder natuurkundedocenten is gebleken dat een aantal van hem NME-gerichte activiteiten ontwikkelt zowel vakgebonden als vakoverstijgend, in de les maar ook buiten de les. De stimuleringsgroep wil de aanwezige kennis gaan bundelen in een docentennetwerk. Tijdens de werkgroep werd uitgelegd hoe binnen zo'n docentennetwerk ideeën en ervaringen uitgewisseld kunnen worden en invoeringsstrategieën ontwikkeld kunnen worden. De stimuleringsgroep heeft ook een onderzoek gedaan naar de behoefte aan additionele leer- en hulpmiddelen en nascholing. Het netwerk kan als platform fungeren en zo de mogelijkheid bieden om in deze behoeften te voorzien.

Tot slot werd er in de werkgroep gediscussieerd over de (on)mogelijkheid van NME in de natuurkundeles op basis van de in de aankondiging genoemde aandachtspunten. Helaas bleek de tijd te kort om te komen tot een lijst met aanbevelingen.





2



26^e WOUDSCHOTEN
CONFERENTIE

leeuwenhorst



SCHOTEN
TIE



26^e WOUDSCHOTEN
CONFERENTIE

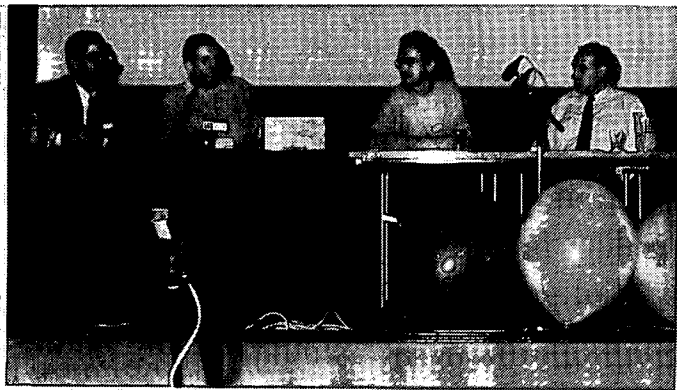
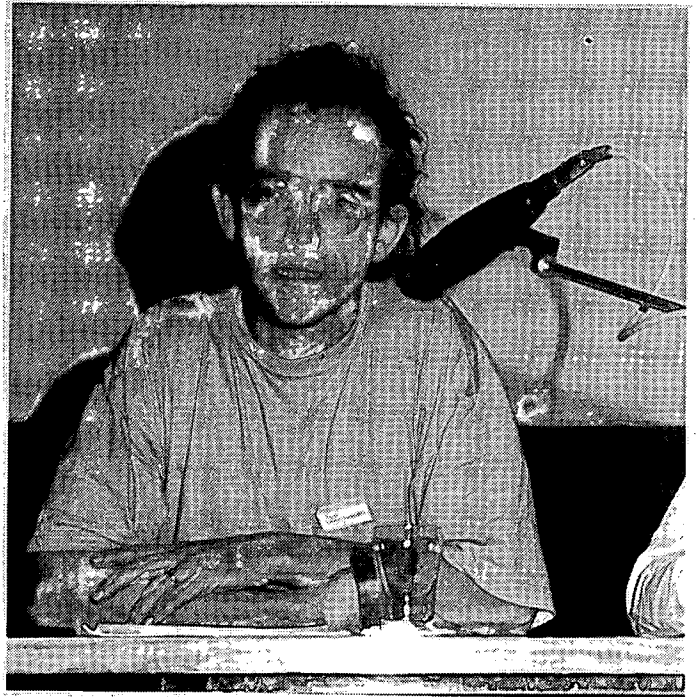


26^e WOUDSCHOTEN
CONFERENTIE

leeuwenhorst
congrescentrum



26^e WOUDSCHOTEN
CONFERENTIE





CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Werken

Werken met de WEN / [red. H.M.C. Eijkelhof]. - Utrecht :

CD-β Press. - III.

ISBN 90-73346-13-4

Trefw.: natuurkunde ; didactiek.