



Zoeklicht op de mechanika



1981

verslag van de konferentie 'woudschoten'

WERKGROEP NATUURKUNDE-DIDAKTIEK

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

Bestuur:

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

inleiding

Geheel en al volgens de traditie van de afgelopen 16 jaren ligt nu weer, enkele maanden na de Woudschotenkonferentie, het verslag ter tafel. Zo langzamerhand vormen de verslagen van al die konferenties een indrukwekkende afspiegeling van de ontwikkeling van het nederlandse natuurkunde onderwijs in deze jaren.

Het was een heel andere konferentie dan die van vorig jaar. Vorig jaar waren het de rolpatronen, de werkvormen en de vakkenintegratie, allemaal onderwerpen die je aan het denken zetten over de achtergronden van je dagelijkse handelen in de les. Dit jaar was het de mechanika met een veelheid van direkt toepasbare ideeën en experimenten. De konferenties tonen duidelijk de twee gezichten van Woudschoten; enerzijds een punt van uitwisseling van ideeën en materiaal en anderzijds het nadenken over het huidige en het toekomstige onderwijs in de natuurkunde.

Uiteraard is Woudschoten ook een heel belangrijk sociaal gebeuren. Vele kollega's die, net als ik al vele jaren trouwe Woudschotenbezoekers zijn, tref ik jaarlijks aan de bar of in de wandelgangen. Het doet me genoeg zien weer te zien en onder het genieten van een drankje kom je meestal toch wel weer over het gemeenschappelijke werk te praten.

Het verslag omvat, zoals gebruikelijk, de teksten van de inleidingen, de verslagen van de werkgroepen (voor zover aanwezig) en enkele impressies van de markt. De evaluatie is nieuw. We hebben enkele studenten gevraagd korte gesprekjes te houden met een aantal deelnemers en op grond daarvan een evaluatie te schrijven. Deze vindt U in deel 4.

Graag wil ik iedereen bedanken die meewerkte aan het succes van deze Woudschotenkonferentie: de inleiders, de medewerkers van de themagroepen, de mensen die de markt verzorgden, de studenten die de evaluatie deden en zeker Jenny Andriese die een aanzienlijk stuk organisatie en het tikwerk voor haar rekening heeft genomen.

Intussen is het bestuur van de werkgroep weer druk doende met het bedenken van het onderwerp voor de Woudschotenkonferentie 1982, want ondanks de dreiging van een dichtgedraaide subsidiekraan, zult U uiteraard ook in 1982 weer kunnen genieten van een Woudschotenkonferentie.

Namens het Bestuur van de Werkgroep Natuurkunde-Didaktiek,

Paul Verhagen.

inhoudsopgave

blz.:

Inleiding

Inhoudsopgave

Programma

Deel I: Lezingen en plenaire discussie

Drs.J.W.Middelink - 'Tussen experiment en theorie ?'	1
M.Kindt - 'Wiskunde in beweging'	13
Drs.A.E.v.d.Valk - 'Mechanika in PLON-thema's'	29
Ir.H.M.Mulder - 'Omgaan met natuurkunde'	44
Dr.P.L.Lijnse - 'Schoolbeeld of straatbeeld'	56
Plenaire discussie	83

Deel II: Subgroepen en markt

Subgroep 1: Een nieuwe vorm voor (so en cse)opgaven: K.Kortland	87
Subgroep 2: (Leer)ervaring met Verkeer en Veiligheidsproeven: A.E.v.d.Valk en R.F.A.Wierstra	89
Subgroep 3: Mechanika in PLON-havo bovenbouw: F.L.Gravenberch en H.M.C.Eijkelhof (voorinformatie)	91
Subgroep 4: DBK-HAVO-bovenbouw: een nieuwe aanpak van de natuurkunde: J.van Riet	92
Subgroep 5: Differentiëren: M.Kindt (voorinformatie)	95
Subgroep 6: Meetkunde: kijken, dan weet je wat je ziet: G.Schoemaker en A. Goddijn (voorinformatie)	96
Subgroep 7: Beweging in de klas: P.Latta, P.Koopmans en W.Buistraan (voorinformatie)	97
Subgroep 8: Betere verankering van begrippen door praktikum: J.G.Lommen en A.J.Migchielsen (voorinformatie)	98

	blz.:
Subgroep 9: De micro-computer in de natuurkundeles: toepassings- mogelijkheden, voordelen en nadelen: F.E.van 't Hul	100
Subgroep 10: Keuze-onderwerpen in het vwo: welke mogelijkheden bieden de keuze-onderwerpen voor vernieuwing van het onderwijs in de mechanica: A.A.M.Agterberg (voorinformatie)	102
Subgroep 11: Inertiaalsystemen en de expansie van het heelal + schoolonderzoek opgave vwo: A.F.Hengeveld	103
Subgroep 12: Niet-centrale elastische botsingen: K.Hellingman (voorinformatie)	114
Subgroep 13: Wanneer en hoe vertel ik het mijn leerlingen?: G.P.Beukema	115
Subgroep 14: Mechanika-methoden: K.W.Walstra	119
Subgroep 15: Natuurkunde in 4 vwo: Kiezen en gekozen hebben: P.J.Wippoo	121
Subgroep 16: 'Problem Solving': J.Hendricx en H.Verstralen	130
Subgroep 17: Toetsen hoe doe je dat?: A.W.Gravesteyn (voorinformatie)	135
Subgroep 18: Toetsen hoe doe je dat?: H.W.L.Vonken (voorinformatie)	135
Foto's van de markt	136
Opstelling voor leerlingenpraktikum mechanica: Andreas College, Drachten	138

Deel III: Terugblik

Verslag van de evaluatiegesprekken	141
------------------------------------	-----

Bijlage:

Deelnemerslijst 'Woudschoten' 1981	145
------------------------------------	-----

programma



vrijdag: 11 december 1981

- 13.45 - 14.40 uur ontvangst
14.40 - 14.50 uur opening door de voorzitter van de WND, Prof.Dr.H.P.Hooymeyers
14.50 - 15.00 uur informatie over het konferentieprogramma door de konferentie-voorzitter Drs.A.Snater, rektor R.S.G. 'Noord Kennemerland', Alkmaar.

BINNEKOMST LAATKOMERS

- 15.00 - 15.45 uur lezing 'Tussen experiment en theorie?' door Drs.J.W.Middelink, leraar natuurkunde, S.G.'Holten', Holten.
15.45 - 16.15 uur *thee*
16.15 - 17.15 uur lezing 'Wiskunde in beweging' door M.Kindt, medewerker van de vakgroep OW & OC, R.U.-Utrecht. (voormalig I.O.W.O.)
17.15 - 17.45 uur informatie over de markt en over de subgroepen op vrijdagavond en zaterdagmorgen
17.45 - 19.00 uur *diner*
19.00 - 20.30 uur subgroepen
20.30 - 23.00 uur markt (markt gaat om 20.15 uur open)
21.30 - ? bar open

zaterdag: 12 december 1981

- 8.00 - 9.00 uur *ontbijt*
9.00 - 9.50 uur lezing 'Mechanica in PLON-thema's' door Drs.A.E.v.d.Valk, medewerker PLON, R.U.-Utrecht.
9.50 - 10.40 uur lezing 'Omgaan met natuurkunde' door Ir.H.M.Mulder, leraar wis- en natuurkunde, Nassau S.G., Breda.
10.40 - 11.05 uur *koffie*
11.05 - 12.30 uur subgroepen
12.30 - 13.30 uur *lunch*
13.30 - 14.30 uur lezing 'Over onderzoek naar begripsmoeilijkheden in de mechanica' door Dr.P.L.Lijnse, medewerker vakgroep natuurkunde-didaktiek, R.U.-Utrecht.
14.30 - 15.00 uur *thee*
15.00 - 15.50 uur plenaire discussie
15.50 - 16.00 uur sluiting

16.15 uur: vertrek bus naar station Leiden

deel I



Tussen experiment en theorie?

Drs J.W.Middink

Geachte kollega's,

Een aantal maanden geleden nam de voorzitter van de werkgroep natuurkunde-didactiek van de Universiteit van Utrecht, Prof. Hooymeyers, contact met mij op om te vragen of ik er voor voelde een lezing te houden op deze 'Woudschoten'-konferentie. De eerlijkheid gebiedt mij te zeggen dat ik toch wel met enige aarzeling mijn 'ja-woord' heb gegeven. Dit om twee redenen.

Ten eerste is een lezing houden voor een zo uitgebreid gezelschap als het Uwe bepaald geen dagelijks werk voor me. Slechts eenmaal eerder heb ik het voorrecht gehad een lezing te houden voor vakcollega's en wel enige jaren geleden voor de kring Zwolle.

De collega's onder U die ook toen aanwezig waren, kunnen beamen dat het destijds spontaan is uitgelopen op een enthousiast aanprijzen van de door mij geschreven boeken. Als verontschuldiging mag worden aangevoerd dat ik toen midden in de schrijverij zat en wie kan dan enthousiaster zijn dan de auteur zelf?

Zoals gezegd is er een tweede reden om slechts aarzelend te hebben toegestemd hier vandaag een lezing te houden. Aanvankelijk gaat namelijk het volgende door je heen: "wat heb ik eigenlijk te zetten op deze conferentie over "inhouden en hun behandelingswijzen in het natuurkundeonderwijs?"

Immers, voor gebruikers van "Systematische Natuurkunde" moet wel duidelijk zijn wat mijn visie is. En tot op zekere hoogte geldt dit ook voor niet-gebruikers. Tenslotte mag ik aannemen dat menig niet-gebruiker in bedoelde boeken op zijn minst het voorwoord heeft gelezen.

Toch is het wellicht zinvol dieper op het een en ander in te gaan. Daarbij kan ik dan het volgende als uitgangspunt nemen.

Door voor collega's wordt "Systematische Natuurkunde" gezien als een leergang waarin de leerstof inderdaad systematisch wordt gepresenteerd, in een stijl die dan genoemd wordt: "een recht voor zijn raap"-stijl.

Zowel die systematische presentatie als die "recht voor zijn raap"-stijl zijn onder meer toe te schrijven aan een ontwikkeling die zich in het verleden heeft voorgedaan.

Direkt na mijn afstuderen, nu een jaar of zestien geleden, ben ik natuurkundeleraar geworden aan een school voor hoger beroepsonderwijs, te weten de hogere zeevaartschool op Terschelling.

Nu moet u weten dat er zich in die tijd minder dan duizend leerlingen per jaar - landelijk gezien! - lieten inschrijven aan zeevaartscholen. Het wordt dan begrijpelijk dat in die tijd geen enkele uitgeverij zich geroepen voelde over te gaan tot het uitgeven van boeken geschreven voor het hoger zeevaartonderwijs. Onder de leerboeken die mij ter beschikking stonden, trof ik dan ook een natuurkundeboek aan waarvan de laatste druk in 1939 was verschenen.... Noodgedwongen moest ik overgaan tot het geven van dictaat en, in latere jaren, tot het uitreiken van stencils. Daarbij was het dan ook nog zo, dat voor bepaalde onderdelen van de natuurkunde (mechanica, warmteleer, elektriciteitsleer) een betrekkelijk hoog niveau moest worden bereikt in een beslist niet ruim gemeten aantal lesuren.

U begrijpt dat dit alles wel moest leiden tot een leerstofpresentatie en behandeling die hopelijk helder, maar zeker zakelijk en efficiënt te noemen was. En als je dit dan jaren achtereen hebt gedaan, welnu, dan moet daarvan het een terug te vinden zijn in boeken die in latere tijd werden geschreven.

Het is nu het moment om in te gaan op de vraag: "wat dreef mij acht jaar geleden tot het schrijven van een leergang natuurkunde voor de bovenbouw havo?" Zoals u wellicht bekend is, ontstonden er toen twee delen: een bij de eerste druk zeer dik deel 1 dat in sommige scholen in het zuiden des lands "de telefoongids" werd genoemd, en een wat minder dik deel 2, ook bekend onder de naam "de gouden gids".

Wel, toen ik van het zeevaartonderwijs overstapte naar het voortgezet onderwijs (de scholengemeenschap in Holten), verwachtte ik van gedicteer en gestencil af te zijn. Ongetwijfeld zou er een leergang zijn waaruit ik prettig les zou kunnen geven tot aan mijn pensioen.

Helaas, ik werd in het een en ander vrij ernstig teleurgesteld. Tegen de bestaande leergangen had ik namelijk nogal wat bedenkingen. Ik noem u achtereenvolgens:

a. een voor m'n leerlingen vaak te moeilijk taalgebruik;

- b. een dikwijls en niet systematische en niet evenwichtige presentatie van de leerstof;
- c. een niet duidelijk gescheiden zijn van hoofd- en bijzaken, vooral veroorzaakt door een te gedetailleerd bespreken van allerlei proeven;
- d. het alleen terug kunnen vinden van bovenbouw-leerstof, terwijl toch ook op het examen bepaalde stukken onderbouw-leerstof aan de orde kunnen komen;
- e. vraagstukkenverzamelingen die m.i. en te eenzijdig en op onvoldoend niveau waren.

Ik besloot dan ook tot het zelf gaan schrijven van een leergang, uitsluitend bedoeld voor eigen leerlingen, waarbij dan steeds stencils zouden worden uitgereikt.

Echter, na een aantal maanden zag ik het "bijna onmogelijke" ervan in: elke leerling had toen al meer dan honderd pagina's gekregen, terwijl niet meer dan 20% van de leerstof was behandeld. De enige oplossing was een uitgever te vinden die bereid was het geschrevene in boekvorm te brengen. Het resultaat is U bekend.

Nadien zijn verschenen de delen A, B, C en D voor bovenbouw vwo, en in de eerste helft van dit jaar de geheel herziene delen 1 en 2 voor bovenbouw havo.

Zojuist heb ik U geschetst hoe ik tot het schrijven van "Systematische Natuurkunde" gekomen ben. Nu wil ik nader ingaan op een aantal bedenkingen die vooral door niet-gebruikers tegen "Systematische Natuurkunde" worden aangevoerd.

Hoewel ik op dit moment een aantal van U bezig zie met een op de vingers aftellen van alle bezwaren, zal ik mij in deze beperken. Ik noem U twee bezwaren, daaraan wil ik dan het een en ander gaan vastknopen.

Bedoelde bezwaren zijn:

- a. de boeken zijn te theoretisch en (dus) te weinig experimenteel van opzet;
- b. aan de boeken ligt *niet* ten grondslag een vertaling van leefervaring van de leerling naar formalisatie.

Ongetwijfeld zijn er onder U een aantal die nu enigszins gespannen uit hun stoel overeindkomen, veroorzaakt door een: "ik ben benieuwd wat hij nu zag gaan zeggen." Ik stel dan voor toch rustig te blijven zitten; het is namelijk niet onbillijk je allereerst af te vragen: "met welk *doel* zijn de boeken geschreven en hoe heeft de schrijver er zich de *bruikbaarheid* van voorgesteld?"

Ik moet U dan eerste het volgende zeggen. In mijn boekenkast treft U onder meer aan de bekende serie "Fundamentele Natuurkunde" van Alonso en Finn, in de voortreffelijke bewerking van Rekveld.

Ik raadpleeg die boeken vaak. Na in het register het bewuste onderwerp te hebben opgezocht, word ik op de daar genoemde pagina's helder en zakelijk geïnformeerd. Bovendien kan ik nagaan in hoeverre ik het bestudeerde heb begrepen, aan het eind van elk hoofdstuk is namelijk een vrij uitgebreide verzameling opgaven opgenomen.

Overigens tref je wel degelijk proeven aan; maar die worden dan sober en niet in detail besproken, zodat je de hoofdlijnen blijft zien.

Kortom: ik vind deze natuurkundeboeken eenvoudig "zeer fijne studieboeken". En dan denk ik wel eens: als ik om bepaalde redenen een studieboek "een fijn studieboek" vind, zou dan ook een leerling om *dezelfde* redenen een studieboek "een fijn studieboek" noemen?.....

Het voorgaande mag U duidelijk maken dat ik "Systematische Natuurkunde" niet geschreven heb omdat natuurkunde zo'n leuk vak voor de leraar is. "Systematische Natuurkunde" is uitsluitend bedoeld voor de leerling.

De leerling moet in de boeken alle stof kunnen terugvinden die in het examenprogramma wordt genoemd.

De behandeling van de leerstof moet helder en zakelijk zijn, zodat bij ziekte e.d. de mogelijkheid aanwezig is zich door *zelfstudie* in ieder geval het grootste deel van de leerstof eigen te maken. Dan moet de tekst niet storend zijn onderbroken door vragen als "hoe denk jij daarover" of "wat vind jij ervan?" De leerling moet m.i. *geïnformeerd* worden.

Pas in een liefst sterk gevarieerde en uitgebreide verzameling opgaven kan dan worden onderzocht in hoeverre het een en ander is verwerkt (Zeker als in het boek een aantal uitgewerkte opgaven zijn opgenomen.)

Modellen en theoriën in de natuurkunde zijn gebaseerd op experimenten. Welnu, dan moeten in een natuurkundeleerboek proeven beschreven staan. Maar dan wel zo, dat door de bomen het bos te zien blijft!

Natuurlijk, zowel het demonstreren van proeven als het zelfstandig experimenteren van leerlingen is belangrijk (ik kom daar straks op terug). Maar minstens even belangrijk is het zien van de samenhang van de verschijnselen en het vertrouwd raken met denkdisciplines (het in structuren denken).

Dit alles kan m.i. slechts verkregen worden door een systematische presentatie.

Ik wil hier nog even terugkomen op de zelfstudie van een leerling.

Het is een niet te weerleggen feit dat "Systematische Natuurkunde" opvallend veel wordt gebruikt op die scholen die in hoge mate een beroep doen op zelf-

studie van de leerling: te weten avondscholen.

Verder is "Systematische Natuurkunde" een van de weinige leergangen - zo niet de enige leergang - geschreven voor havo en vwo, die echter óók aantoonbaar zijn weg heeft gevonden op MTS'en en HTS'en, laboratoriumschole en andere opleidingsinstituten. Ongetwijfeld heeft dit te maken met zojuist genoemde mogelijkheid tot zelfstudie. Maar ook heeft dit te maken met het feit dat MTS, HTS, enz. met name een groot beroep doen op de theoretische kennis van de aankomende student.

In dit verband het volgende:

Een bevriende natuurkundecollega die op de mavo les geeft (collega A), informeerde bij een andere natuurkundeleraar (collega B), hoe hij in de vierde klas mavo de formules $s = \frac{1}{2} a \cdot t^2$ invoerde. Die zei toen dat hij helemaal niet meer met formules werkte. "Alles wordt namelijk via leuke proefjes uit diagrammetjes afgelezen!"

Collega A vroeg toen hoe het dan moest met leerlingen die doorgingen naar b.v. de MTS. Het antwoord van collega B was even eenvoudig als verbluffend: "daar heb ik niets mee te maken."

Zojuist is de problematiek betreffende aansluiting avo-vwo-onderwijs met vervolgonderwijs even aangeroerd. Nu wil ik U beschrijven hoe er lesgegeven zou kunnen worden bij gebruik van "Systematische Natuurkunde."

Het is niet te voorkomen dat bij een systematische presentatie van leerstof sprake is van een "strak stramien." Des te verrassender is dan toch de grote vrijheid die de leraar heeft. Ik zal u dit toelichten aan de hand van drie voorbeelden.

Bij de bespreking van het onderwerp "lorentzkracht en stroombalans" legt Leraar A zijn boek open en leest voor. Aan het eind van de pagina gekomen, steekt Kees zijn vinger op en zegt er niets van te begrijpen. De leraar leest hetzelfde stuk nogmaals voor, onmiskenbaar met verlegging van accent. Na afloop zegt Kees er nu méér van te begrijpen.....

Op hetzelfde moment is ook leraar B bezig met de behandeling van "lorentzkracht en stroombalans." In het begin van de les stelt hij enkele vragen over die leerstof. De leerlingen hadden die namelijk al thuis bestudeerd. Leraar B besteedt nu een vrij groot deel van het lesuur aan demonstraties, om vervolgens nog een aantal opgaven toe te lichten die betrekking hebben op de stof.

We stappen nu bij leraar C de klas binnen. Deze is juist bezig aan de hand van demonstraties de leerlingen te confronteren met een voor hen geheel nieuw verschijnsel. Samen met de klas snuffelt hij aan het nieuwe; voert een klasgesprek over de mogelijke betekenis. Vervolgens zet hij zijn leerlingen daaruit voortvloeiende experimentele en theoretische probleempjes voor. Voor de volgende les geeft hij opdracht die probleempjes uit te werken en daarbij §27 van deel C van "Systematische Natuurkunde" te raadplegen.

U ziet, mogelijkheden genoeg. Ook als U b.v. door een tekort aan natuurkunde-lokalen gedwongen bent "ergens achteraf" les te geven (hier spreek ik uit ondervinding).

In zou het voorgaande als volgt willen samenvatten: m.i. beschikt de leraar over een aanzienlijke vrijheid wat zijn manier van lesgeven betreft, als hij een leerboek gebruikt waarin de leerstof systematisch wordt gepresenteerd en helder wordt uitgelegd. Zo'n leerboek geeft de leerling namelijk *houvast*.....

Eerder in dit betoog is al gezegd dat ik het experiment als basis van een natuurwetenschap belangrijk vind. Sterker gezegd: ook in de bovenbouw vind ik het door leerlingen uitvoeren van proeven van essentiële betekenis. Dit moge blijken uit het feit dat het op mijn school in de voor-examenklassen (dus in de 4e klas havo en de 5e klas vwo), één lesuur per week geheel wordt besteed aan "leerlingenpracticum."

Doelstellingen zijn:

- a. het verkrijgen van bepaalde praktische vaardigheden;
- b. systematiek in het bepalen van natuurkundige grootheden en al wat daarmee samenhangt.

Zo moet de leerling niet alleen met ampère- en voltmeter, maar ook met een eenvoudige schooloscilloscoop metingen kunnen verrichten. Daarbij komen dan ook technieken ter sprake om zo nauwkeurig mogelijk te kunnen meten. Onder meer aan schakelingen, die dan eventueel een of meer diodes of LDR's kunnen bevatten.

Verder kan genoemd worden het kunnen maken van tikkerbanden, het kunnen interpreteren van zo'n band en als er sprake is van een constante snelheid dan wel van een constante versnelling, het kunnen bepalen van de waarde ervan.

Overigens komen veel proeven neer op het bepalen van het verband tussen twee grootheden. Uit de meetresultaten moet dan worden afgeleid *hoe* die grootheden grafisch moeten worden uitgezet om een *lineair* verband te krijgen. (Zo blijkt

bij een bepaalde "proef met tikkerband" de tijd te moeten worden uitgezet tegen de *wortel* uit de verplaatsing). Vervolgens moet uit het gemaakte diagram de steilheid van de rechte worden bepaald, waarmee dan de waarde van een of andere constante (b.v. de valversnelling) is te berekenen.

Wat het "leerlingenpracticum" betreft, kan tenslotte nog worden opgemerkt dat aan de atheneumleerling een extra eis wordt gesteld. Verwacht wordt dat zo'n leerling uiteindelijk *zelfstandig* bepaalde opdrachten kan uitvoeren. De leerling krijgt dan een opdracht zonder uitgebreid voorschrift.

Het is mogelijk dat zo'n opdracht betrekking heeft op een onderwerp dat niet tot de kernleerstof hoort. Dan is aan het voorschrift een stukje theorie (met een of meer formules) toegevoegd.

Een voorbeeld van zo'n opdracht is "de torsieslinger", waarbij een stukje rotatiemechanica ter sprake komt (onder meer het begrip traagheidsmoment). Van de leerling wordt nu verwacht dat hij bepaalde experimentele uitkomsten kan interpreteren, onder gebruikmaking van de analogie in structuur van rotatiemechanica en de hem bekende mechanica.

Hiermee heb ik U hopelijk duidelijk kunnen maken dat bij gebruik van "Systematische Natuurkunde" óók het practicum aan zijn trekken kan komen. Scherper gezegd: doordat grote stukken van de theorie door *zelfstudie* eigen gemaakt kunnen worden, is het m.i. mogelijk "evenwicht te bereiken tussen theorie en experiment."

Niemand onder U, en ook ik niet, wil terug naar de situatie in het natuurkunde-onderwijs zoals die was op de oude HBS; immers hier werd niet of nauwelijks aandacht aan het experiment geschonken.

Is het echter niet zo dat, *als reactie hierop*, ontwikkelingen zijn te bespeuren waarbij de slinger juist sterk naar de andere kant wordt gedreven? M.i. hoort de slinger zich halverwege te bevinden, d.w.z. horen theorie en experiment *beide* aan hun trekken te komen, waarbij het een niet ten koste gaat van het ander.

Eerder in mijn betoog noemde ik U twee bezwaren die tegen "Systematische Natuurkunde" worden aangevoerd. Op één ervan ben ik tot nu toe niet ingegaan, te weten: "aan bedoelde leergang ligt *niet* ten grondslag een vertaling van leefervaring van de leerling naar formalisatie." Hierop wil ik U het volgende antwoorden:

"Systematische Natuurkunde" is een leergang voor de bovenbouw. E bij mijn weten gaat aan het natuurkundeonderwijs in de bovenbouw twee jaar, soms zelfs drie jaar, natuurkundeonderwijs vooraf.

Welnu, is het dan zó, dat ons natuurkundeonderwijs in de onderbouw alleen nog maar kan worden verwoord met: "physics is fun?" Of proberen we *juist in die onderbouw* ons onderwijs te laten aansluiten bij de leefervaring van de leerling, en dan geleidelijk te komen tot een vertaling van leefervaring naar formalisatie?

Op de scholengemeenschap in Holten wordt bij het natuurkundeonderwijs in de onderbouw gebruik gemaakt van een methode waarin inderdãád wordt aangesloten bij de leefwereld van de leerling.

In die methode is sprake van een verrassende verzameling proeven, die vaak met "huis- tuin- en keukenmiddelen" zijn uit te voeren. Daarbij is het taalgebruik opvallend eenvoudig.

Al bladerend door die methode zou u tot de ontdekking komen dat zich structuren aan het ontwikkelen zijn. Verder zou u constateren dat er geleidelijk sprake is van formalisatie (hetgeen b.v. bij de behandeling van de spiraalveer uitmond in het recht evenredig zijn van kracht en uitrekking). Al verder bladerende, zou het U overigens niet ontgaan dat er hier en daar zelfs enkele formules staan!

Kortom: op mijn school zijn de leerlingen aan het eind van de derde klas vertrouwd met het feit dat in de natuurkunde wordt geformaliseerd en dat relaties tussen grootheden in formules kunnen worden weergegeven.

Ik neem aan dat U het met mij eens bent als ik stel dat het natuurkundeonderwijs in de *bovenbouw* in een "tang" zit.

Immers, enerzijds willen we het natuurkundeonderwijs in de bovenbouw graag zó geven dat zo goed mogelijk wordt aangesloten bij de leefwereld van de leerling. Anderzijds is het ons allen bekend dat in het vervolgonderwijs de natuurkunde uiterst formalistisch wordt gepresenteerd. Welk natuurkundeboek bestemd voor HTS, TH of Universiteit U ook open slaat, het is meestal de ene elllange afleiding na de ander.

De vraag rijst dan: is het mogelijk het natuurkundeonderwijs in de bovenbouw zó te brengen dat er in *beide* richtingen daadwerkelijk sprake is van *aansluiting*?

Hoe ik daarover denk en hoe we in Holten dat aanpakken, zal U uit het voorgaande duidelijk geworden zijn.

Vanzelfsprekend is die manier niet de enige, en wellicht ook niet de beste. Uiteindelijk probeert ieder van ons een en ander op zijn eigen specifieke wijze zo goed mogelijk te realiseren. De een gebruikt methode A, een ander past didaktiek B toe, een derde hanteert daarbij leergang C.

Echter, niets is persoonlijker dan lesgeven. Het zou zich dus best kunnen voordoen dat je, ondanks alles, tevreden bent over je eigen specifieke manier van lesgeven, en over de resultaten behaald door je eigen leerlingen. Hoe triest zou het dan niet zijn (ën voor jezelf en dan waarschijnlijk ook voor je leerlingen) als je *gedwongen* zou worden een methode, een didaktiek of een leergang te gaan gebruiken, waarmee je denkt *niet* uit de voeten te kunnen...

Zo'n mogelijk tevreden zijn houdt natuurlijk niet in dat je zou nālaten voortdurend te sleutelen aan alles wat met je lesgeven te maken heeft. Dit kan een van de redenen zijn waarom U en ik hier aanwezig zijn.

Ik ben nu bijna aan het eind van mijn betoog. Wellicht bent U teleurgesteld, b.v. omdat "Systematische Natuurkunde" teveel is genoemd en er te weinig is gesproken over methodiek en didaktiek. U moet dan echter het volgende bedenken:

De spreker waar U momenteel naar luistert, is natuurkundeleraar, zoals de meesten van U. Hij is niet verbonden aan een universitaire werkgroep natuurkunde didaktiek. Ook ziet hij zich niet als iemand die specialistische kennis bezit van didaktiek, leerprocessen, enz.

U heeft eenvoudig te maken met een leraar die een aantal jaren geleden zijn leerlingen overlaadde met stencils, geschreven in avonduren en afgedraaid op vrije dagen. In de hoop *zijn* leerlingen een leidraad, een houvast te geven. Diezelfde leraar dacht zijn vrije dagen anders te kunnen gaan besteden toen een uitgever bereid bleek het geschrevene in boekvorm te brengen. Dit alles nog steeds om *zijn* leerlingen een leidraad, een houvast te geven.

Het moet worden gezegd dat die leraar eenvoudig volledig was verrast door het onthaal dat "Systematische Natuurkunde" in den lande heeft gevonden. Kortom: ik ben dus een van die leraren die een aantal boeken, lēerboeken, heeft geschreven. Niet méér dan dat.....

Ik dank U voor Uw aandacht.

Diskussie

nav de lezing van de heer J.W.Middelink

- Jos Smits :Als leraar aan de Gregorius mavo-havo scholengemeenschap te Utrecht gebruikte ik uw oude delen. De nieuwe versie vertoont daarmee grote verschillen. Ik ben benieuwd naar de redenen voor zo'n veranderde indeling.
- Middelink :Dat komt o.a. door ontwikkelingen in de schrijver zelf: ik vond de oude delen niet meer zo bruikbaar. Zo had ik bijvoorbeeld problemen met de invoering van $F = ma$. Dat heb ik veranderd. De delen ABCD waren eerder geschreven. De nieuwe havo-boeken vond ik beter. Toen ik indertijd deel 1 voor de havo schreef was er geen enkel programma bekend. Bij deel 2 had ik al veel meer houvast door het verschijnen van het interimrapport. De opgaven bij de nieuwe havo delen heb ik aangepast aan de veranderde examens. Tenslotte heb ik ook geprobeerd mee te gaan met vernieuwingen die door niet-gebruikers worden gepropageerd.
- Hoymayers :U zegt dat U Uw leerboek geschreven heeft vanuit de gedachte: ik vond de boeken van Alonso en Finn fijn, zouden de leerlingen dat ook niet fijn vinden? Ook is het zo dat de meeste mensen zo onderwijzen als ze zelf onderwezen zijn. Inmiddels is duidelijk dat er zeer veel verschillende manieren van leren zijn. Het Alonso en Finn leren is typisch iets voor een studiehofd. De leerlingengroep havo/vwo met natuurkunde is echter aanzienlijk breder dan de jaarlijkse groep van ongeveer 600 natuurkunde studenten. U beperkt zich met Uw spreken tot de havo/vwo bovenbouw. Doet U dat ook expres?
- Middelink :Ik zou geen onderbouw boeken geschreven kunnen hebben. Ik kan dat niet. Mijn gevoel voor de leefwereld van die leerlingengroep is minder ontwikkeld.
- Biezeveld :Als ik verkeerd citeer hoor ik het wel. Aansluiten bij de leefwereld laat U aan het eind van de derde klas varen.

Leerlingen moet nu leren formaliseren en aan recht voor z'n raap natuurkunde beginnen!

U koppelt leeftijd aan aansluiten bij leefervaringen. Volgens mij moet je ieder nieuw stuk natuurkunde echter eerst handtastelijk doorkrijgen. Dat mag je niet overslaan. Je mag niet te snel gaan formaliseren.

Middelink :Ik heb mij op deze vraag voorbereid. Ik ben het eens met Uw stelling. De leraar in 4 havo, in 4 vwo heeft de taak vanuit experimenten, speels de leefervaring thuis in de klas te halen. Het boek mag echter wat compakter en formeler zijn. Het boek ligt er: het onderwijs is dan nog lang niet klaar.
Bij een niet-adekwate paragraaf, maak je een stencil. De leraar maakt het onderwijs, niet het boek!



Wiskunde in beweging

M. Kindt

De titel van dit verhaal is tripelzinnig:

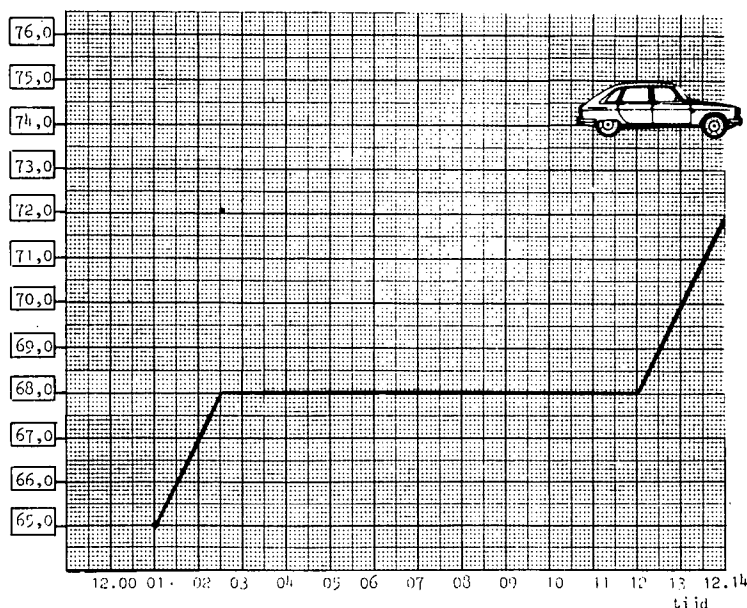
- (i) Beweging is in de meest letterlijke betekenis van het woord onderwerp van studie in de mechanica. In dat verband zou men kunnen zeggen "er zit wiskunde in beweging", laat ik voor deze gelegenheid spreken van kine-mathematica.
Uit dit gebied zal ik u een aantal voorbeelden laten zien.
- (ii) Een meer voor de hand liggende interpretatie van de titel wijst in de richting van veranderingen in de schoolwiskunde. Inderdaad is met ingang van dit jaar het zgn. HEWET-project van start gegaan, een project dat allereerst van onmiskenbare invloed zal zijn op het wiskunde-onderwijs in de bovenbouw van het V.W.O. (Er zit beweging in de wiskunde!).
Over dit HEWET-project zal ik u aan het eind van mijn verhaal kort informeren.
- (iii) De derde betekenis van beweging die ik op het oog heb, is die van "groepering van mensen die eenzelfde doel nastreven", vergelijk "vredesbeweging", "vakbeweging" e.d.
Er is zeker ook een onderwijsbeweging van mensen die een onderwijs nastreven van onderwijs dat aansluit op de belevingswereld van kinderen. De beweging kent allerlei sub-bewegingen, zoals in het natuurkunde-onderwijs het PLON. In het wiskunde-onderwijs kenden we tot voor kort het IOWO en het zal u niet verbazen dat ik als ex-medewerker van dit instituut mijn voorbeelden ontleen aan het vele leerlingenmateriaal dat door het IOWO gepubliceerd is.

TIJD-PLAATS-GRAFIEKEN

Tijd-plaats-grafieken bieden interessante mogelijkheden voor het wiskunde-onderwijs, van brugklas tot 6-V.W.O.

Laat ik beginnen met een voorbeeld uit het leerstofpakketje "Auto-wegen", een IOWO-thema waarin wiskundige activiteiten plaats hebben rond de autokaart, afstandstabel, hectometerbordjes e.d.

Ergens in het boekje worden de leerlingen geconfronteerd met deze grafiek:



De eerste vraag n.a.v. dit plaatje is: "Wat kun je vertellen over de rit van de Renault die om 12.01 uur het bordje 65,0 passeerde?" Brugklasleerlingen (in dit geval uit een LEAO-MAVO-klas) moeten hier toch echt wel even over nadenken, maar komen soms tot verrassend aardige formuleringen, zoals:

"de auto rijdt niet, maar de tijd loopt wel door" of "in die 9½ minuut kan hij van alles gedaan hebben, maar hij stond stil".

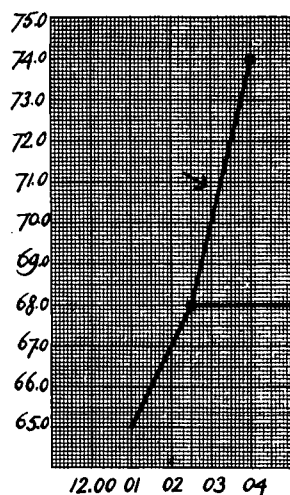
De tweede vraag die meer problemen oplevert, luidt:

"De bestuurder van de Renault had de Wegenwacht opgeroepen omdat zijn motor weigerde.

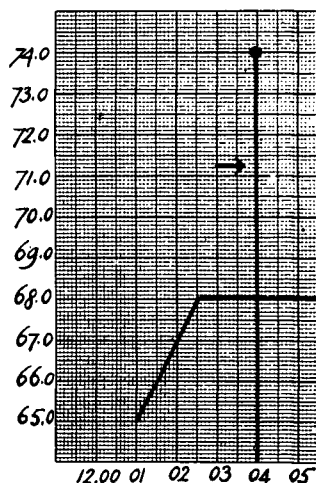
Om 12.04 uur vertrekt een Wegenwacht van bordje 74,0 in de richting van de stilstaande Renault. Hij rijdt met een snelheid van 90km/uur. Teken in de figuur de grafiek van de rit van de Wegenwacht".

Zo'n tijd-plaats-grafiek wordt nogal eens verward met de weg die wordt afgelegd (in dit verband kan men zich afvragen of de door fysici gebruikte term "afgelegde weg" wel zo gelukkig is), dit verschijnsel hebben wij "kaartachtigheid" gedoopt.

Die misvatting leidt tot oplossingen als:



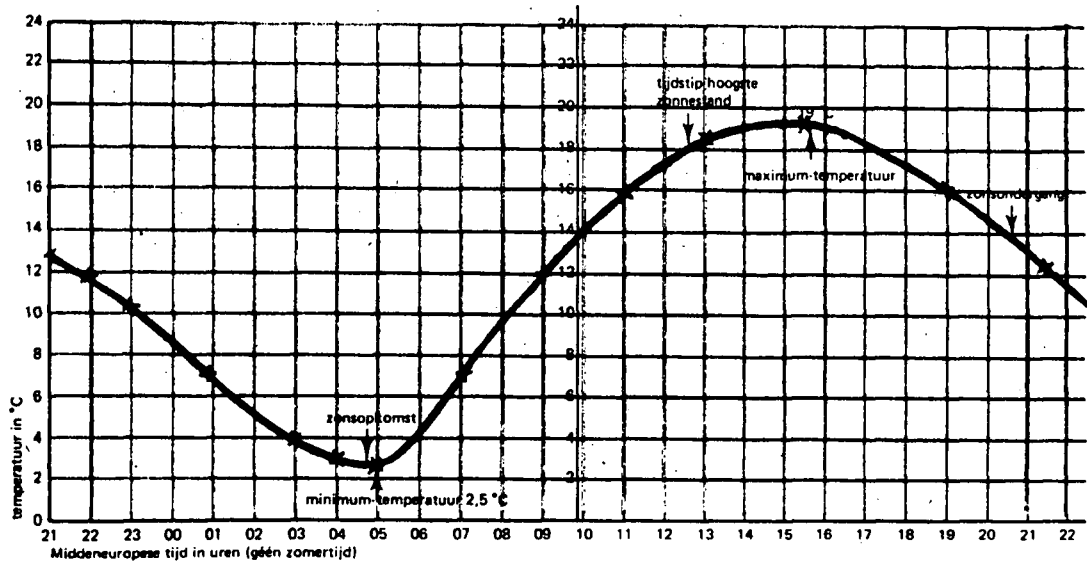
Het eerste knikpunt wordt als plaats des onheils gezien, en daar gaat de Wegenwacht linia recta naar toe.



De kortste weg naar de grafiek is de loodlijn.

In gesprekken worden dit soort misconcepties meestal snel onderkend en tenslotte wordt de rechte lijn naar het punt (12.08; 68,0) wel gevonden. De beantwoording van de derde vraag: "Hoe lang duurde de reparatie?" (gegeven het feit dat de automobilist na afloop daarvan onmiddellijk zijn weg voortzette) wordt moeiteloos beantwoord. Alles bij elkaar toch een pittig probleem voor deze brugklas. Het verrassende was dat latere L.B.O.-leerlingen hier zeer goed mee uit de voeten konden, dezelfde leerlingen die later in MAVO-4 met in feite eenvoudiger interpretatie-vragen van grafieken geen raad wisten. Men kan natuurlijk stellen dat het effect van een pakket als "Autowegen" op het latere wiskunde-onderwijs gering was, maar een

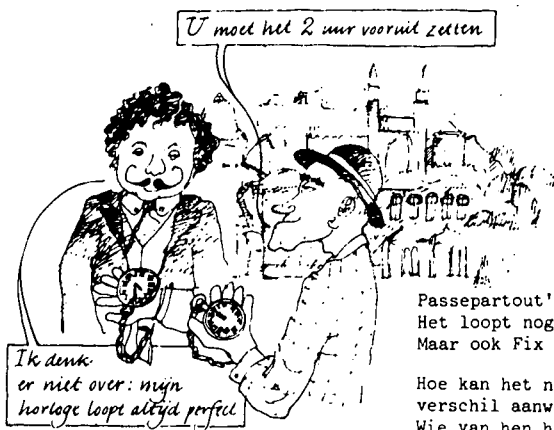
andere verklaring is dat de leerlingen zich door de context in "Autowegen" voelden aangesproken, terwijl de wiskunde van het examen niets meer voor hen betekende. Dat is een ervaring die we met het IOWO vaak hebben gehad. Een frappant voorbeeld levert deze opgave uit het boekje "Differentiëren":



Dagelijkse gang van de luchttemperatuur op een heldere dag in mei in De Bilt

De vraag naar het uur van de dag waarop de temperatuur het snelst opliep, wordt door leerlingen zonder enige voorkennis van differentiaalrekening vrijwel zonder uitzondering, goed beantwoord. Maar dat bij een opgave zoals op het HAVO-eindexamen 1978, waar n.a.v. de grafiek van een derdegraads functie het punt met maximale helling (er stond: het punt waarin de raaklijn maximale richtingscoëfficiënt heeft), bijna iedereen het antwoord schuldig bleef, geeft toch te denken. Het landelijk gemiddelde bedroeg 0,7 van de vier punten, terwijl het louter noemen van het buigpunt al één punt opleverde. Blijkbaar is bij een "kale" presentatie de kwestie aanmerkelijk lastiger dan in een context zoals het temperatuurverloop op een dag. Het wekt misschien geen verbazing waarom wij bij het IOWO er naar hebben gestreefd de wiskunde niet-geïsoleerd te presenteren. De wisselwerking van "wiskundig model" (zoals een grafiek) naar de realiteit stond hoog in het vaandel van het IOWO. Ik laat daar nog een paar voorbeelden van zien.

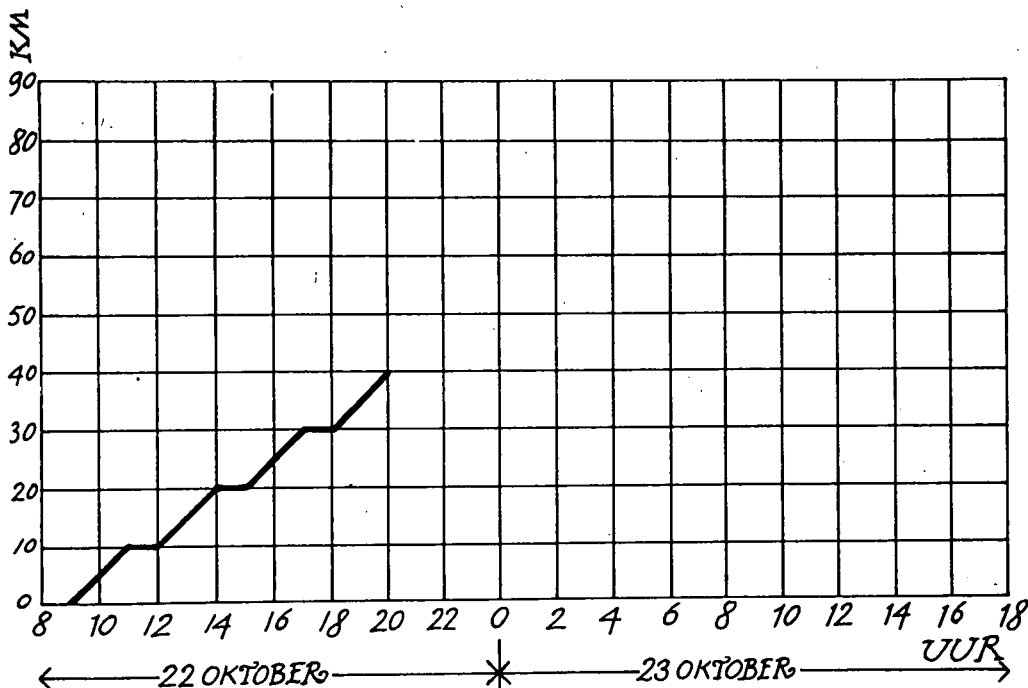
In de "Reis om de wereld in 80 dagen", een wiskunde-aardrijkskunde-project naar Jules Verne's spannende verhaal waarin de rijke Brit Phileas Fogg in 1872 een weddenschap aangaat dat hij in 80 dagen een rondje om de aarde kan maken, spelen tijd en plaats een alles overheersende rol. Jules Verne heeft op zeer geraffineerde wijze een "absolute tijd" ingebouwd via Fogg's butler Passepartout, die een onbeperkt vertrouwen heeft in zijn horloge en het halstarrig weigert aan te passen aan de tijd van het land waarin hij vertoeft.



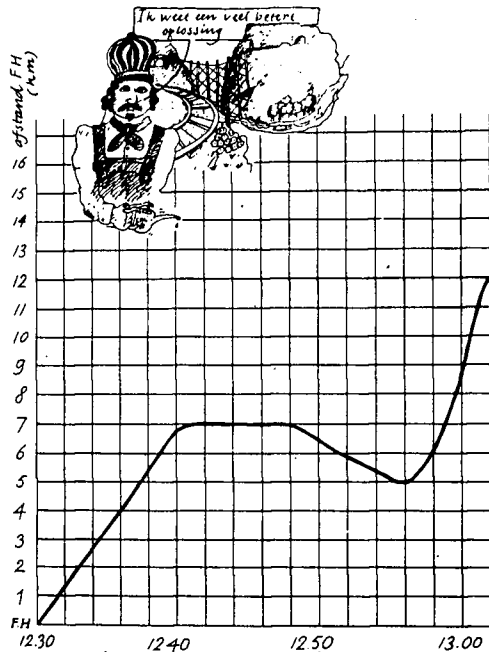
Passepartout's horloge is een erfstuk van zijn overgrootvader. Het loopt nog geen 5 minuten in een heel jaar achter! Maar ook Fix heeft een horloge dat altijd precies gelijk loopt.

Hoe kan het nu dat de horloges van beide heren zo'n groot tijdsverschil aanwijzen? Wie van hen heeft er gelijk volgens jou? Waarom?

Van sommige reisetappes is een tijd-plaats-grafiek getekend, zoals van het reisje per olifant, waarbij de leerling op basis van een stukje originele Jules Verne-tekst het verhaal grafisch moet voortzetten.



De omkeer-activiteit, het vertellen van een verhaal op basis van een grafiek, komt ook aan de beurt, nl. op het moment dat Fogg bij de oversteek van San Francisco naar New York, zijn zoveelste hinder- nis ontmoet in de vorm van een zeer gammele brug.



Dit is een grafiek van de treinrit na het passeren van Fort Halleck.

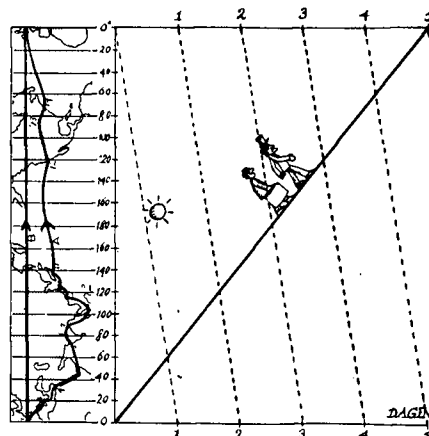
Op de verticale as is de afstand (in km) tot Fort Halleck afgezet.

Bekijk die grafiek en beantwoord de volgende vragen:

- Hoeveel kilometer voorbij Fort Halleck bevond zich de brug?
- Hoe laat stopte de trein voor de brug?
- Met welke snelheid was de trein Fort Halleck gepasseerd?
- Welke oplossing heeft de machinist bedacht?

Bij beantwoording van vraag d komen leerlingen dan tot formuleringen als: "de trein reed eerst zachtjes 2 km achteruit, toen steeds harder en daarna met een noodgang over de brug".

De clou van het boek is de vergissing van één dag die Fogg bijna noodlottig wordt. Dit altijd weer moeilijke probleem kan op verras- sende wijze met een grafiek worden opgelost.

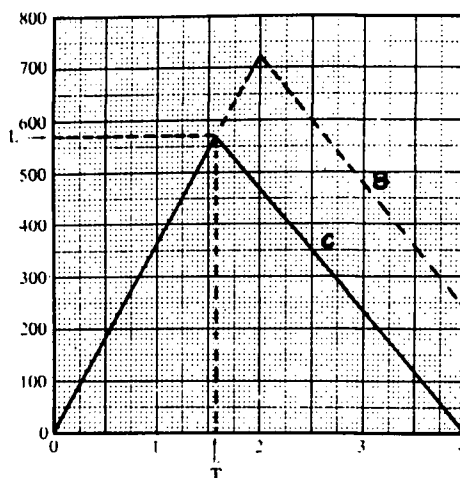
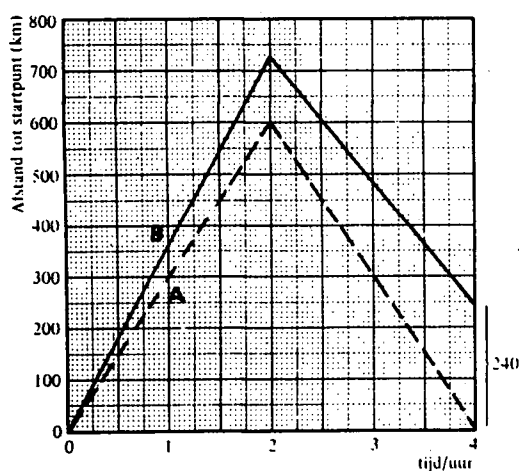


Een reisje van vijf dagen in oostelijke richting van de aardbol, levert zes zonsondergangen op!

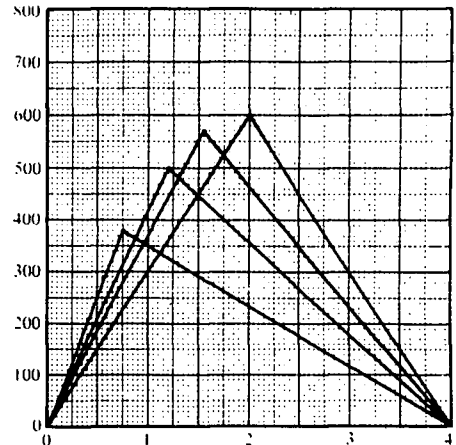
Dit laatste voorbeeld heeft het karakter van wat we een "rijk probleem" noemen. En dat is ook een van de karakteristieken van het wiskunde-onderwijs van het IOWO, het is probleem-georiënteerd.

Een voorbeeld van zo'n probleem vinden we in het boekje "Differentiëren" waarin de Beechcraft Bonanza met brandstof voor vier uur vliegen aan boord en een snelheid van 300 km/uur een vluchtje maakt. Het vliegtuig heeft de wind (60 km/uur) op de heenreis pal mee. Het probleem is natuurlijk: op welk moment (of na welke afstand) moet de piloot terugkeren om nog net de thuishaven te kunnen bereiken? Met andere woorden: waar ligt zijn point-of-no-return?

De niets vermoedende leerling ontdekt vrij gauw dat eventuele naïviteit van de piloot gestraft wordt met een noodlanding op 240 km van de vertrekhaven (zie grafiek B). Meetkundig kan nu eenvoudig de grafiek (C) geconstrueerd worden die onze piloot nog juist terugbrengt.



Een typisch wiskundige activiteit is dan, om eens de grafieken te tekenen bij wisselende windsnelheid en de vraag naar de meetkundige plaats van de toppen rijst al gauw. Om in te zien dat dit een parabool is, is een aardig stukje algebra vereist!



Met V = snelheid vliegtuig (t.o.v. de lucht);
 W = windsnelheid;
 E = aantal vliegreuren (Endurance);
 T = tijd om terug te keren;
 L = afstand tot point-of-no-return;

vinden we:

$$E = \frac{L}{V+W} + \frac{L}{V-W}$$

en daaruit:

$$L = \frac{V^2 - W^2}{2V} \cdot E \quad \text{en} \quad T = \frac{V - W}{2V} \cdot E$$

Eliminatie van W uit deze betrekking geeft L als kwadratische functie van T .

U heeft nu wat kaleidoscopisch kennis gemaakt met een aantal voorbeelden van "IOWO-wiskunde".

Kenmerken hiervan zijn:

- (i) *Het gebruik van context (buiten de wiskunde).*
Dit maakt de wiskunde voor de leerlingen *concreet*, het werkt *motiverend* voor de leerlingen en richt van meet af aan de aandacht op het proces van *mathematiseren*.
- (ii) *Het onderwijs is onderzoeksgericht*, hetgeen tot uiting komt in het *probleem-georiënteerde* karakter en de mogelijkheden die het materiaal biedt tot *zelfwerkzaamheid*.

Allemaal mooie kreten, maar zet dat alles wel zoden aan de dijk?
Anders gezegd: kan men langs deze weg ook tot een stukje wiskundige
theorievorming komen?

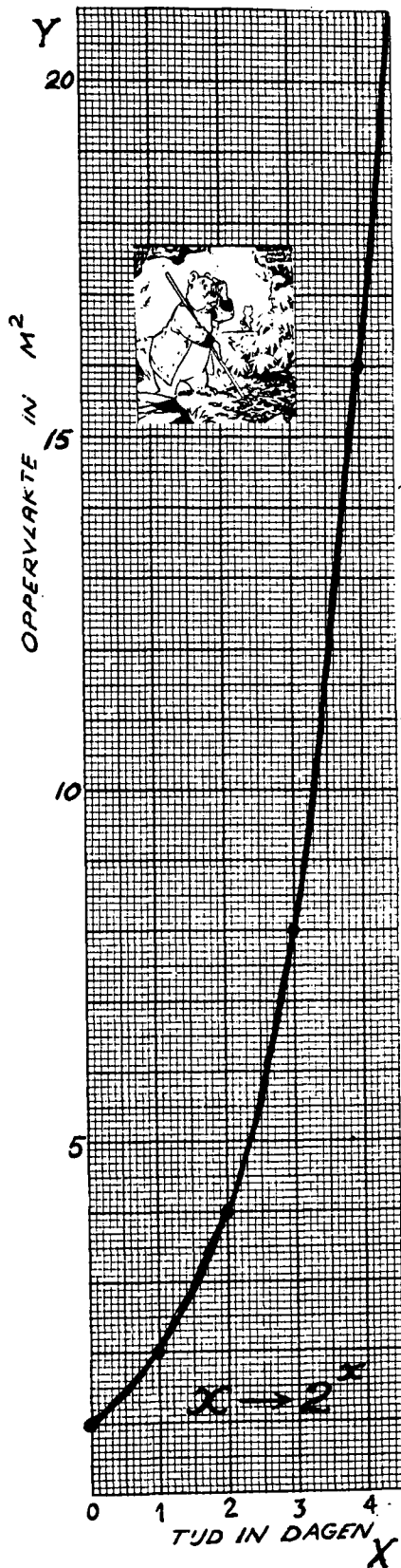
Het voorbeeld waarmee ik u laat zien dat dit wel mogelijk is, is
exponentiële groei.

Ook dit is een onderwerp waarvan ik zou willen zeggen: jong geleerd,
oud gedaan.

In de brugklas kan bijv. de aardige legende over de uitvinder van het
schaakspel verteld worden, die als beloning voor zijn vondst één
graankorrel op het eerste veld, twee op het tweede veld, vier op het
derde veld, enz. vraagt. De sultan aan wie hij dit vraagt is zeer
verbaasd over zoveel bescheidenheid, maar laat voor alle zekerheid
toch maar even zijn rekenmeester opdraven. Al gauw blijkt dat deze
voortdurend op nieuwe eenheden (bussen, zakken, pakhuizen, ja hele
oogsten) moet overschakelen. Een prachtig voorbeeld om het explo-
sieve karakter van de exponentiële groei te illustreren.

Een ander bekend verhaaltje is dat van het kroos dat de vijver over-
woekert. In het boek "Exponenten en Logarithmen" is de ontwerper in
de huid van Marten Toonder gekropen. In het verhaal "Heer Bommel en
de ex-ponenten" laat de argeloze heer 1 m² van een snelgroeiend wa-
tergewas in zijn slotvijver brengen. Dagelijks verdubbelt de opper-
vlakte zich. Na zes dagen blijkt de vijver halfvol.

De (bekende) vraag is nu: na hoeveel dagen is de vijver geheel met
kroos bedekt? Bommel tuint er natuurlijk in, maar Tom Poes heeft
het allang in de gaten. Het probleem laat zich ook grafisch illus-
treren.



We hebben hier in feite te maken met het verschijnsel "evenredige groei", d.w.z. gelijke tijdvakken, gelijke groeifactoren. Voor een periode van een week bijv. is de groeifactor 128 ($= 2^7$).

Interessant is de vraag naar de groeifactor van $\frac{1}{2}$ dag. Die blijkt $\sqrt{2}$ te zijn, en dit leidt dan tot de definitie:

$$2^{\frac{1}{2}} = \sqrt{2}$$

De grafiek illustreert een continu groeiproces, en de intuïtieve definitie:

$$2^t = \text{aantal m}^2 \text{ kroos op tijdstip } t$$

is zeer plausibel.

(Een exacte invoering van machten met irrationale exponent is voor het V.W.O. trouwens niet echt haalbaar).

De bekende eigenschappen als:

$$2^{t_1} \cdot 2^{t_2} = 2^{t_1 + t_2} \text{ en } (2^{t_1})^{t_2} = 2^{t_1 \cdot t_2}$$

zijn in het kader van het kroosprobleem gemakkelijk te ontdekken en uit te leggen.

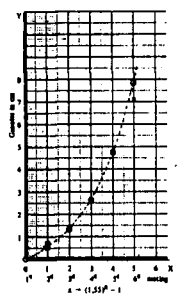
Vanuit de grafiek wordt het omkeerprobleem aangesneden:

Hoeveel tijd verstrijkt er voor er 10 m² kroos op Bommel's vijver ligt? In eerste instantie wordt dit getal afgelezen uit de grafiek.

Via invoering van de logaritme-met-grondtal-2 als oppervlakte-tijd-func-

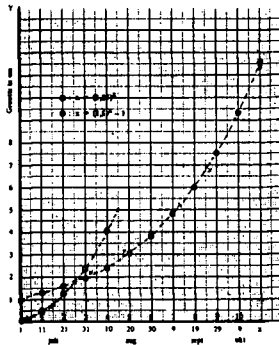
tie, komt een betrekking als ${}^2\log 10 + 1 = {}^2\log 20$ (precies weer het verdubbelingsprobleem!) voor de dag en de zgn. hoofdeigenschap: ${}^2\log a + {}^2\log b = {}^2\log ab$ volgt op heel natuurlijke wijze.

Dit voorbeeld laat zien hoe op speelse wijze een moeilijk begrip als logaritme kan worden ingevoerd, waarbij de structurele eigenschappen van exponenten/logaritmen volkomen natuurlijk worden afgeleid. Hier blijft het in het boek "Exponenten en Logaritmen" niet bij; er worden ook veel "echte" wiskunde-sommen gemaakt en daarnaast komen "serieuze" verschijnselen aan bod zoals: celdeling, gasverlies bij luchtschepen (asymptoot!), rente en afschrijving, bevolkingsgroei, groei van zeesterren, logaritmische spiraalvorming bij schelpen, muziek, kortom een rijk geheel.



In het 11e deel van dit boek heb ik de formules hierin verder getoelicht. Het is een zeer eenvoudige manier om de groei van een systeem te beschrijven. Het is een zeer eenvoudige manier om de groei van een systeem te beschrijven. Het is een zeer eenvoudige manier om de groei van een systeem te beschrijven.

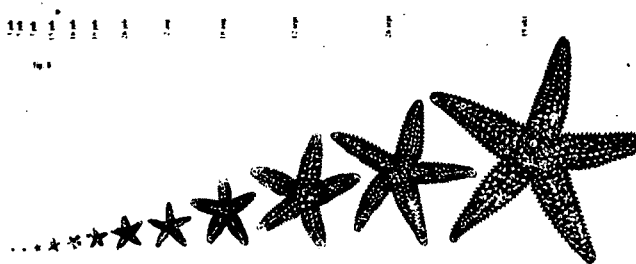
3 jaar	1,5 mm
5 jaar	2 mm
7 jaar	3 mm
10 jaar	5 mm
15 jaar	10 mm
20 jaar	16 mm
30 jaar	32 mm
40 jaar	64 mm
50 jaar	128 mm
60 jaar	256 mm
70 jaar	512 mm
80 jaar	1024 mm
90 jaar	2048 mm
100 jaar	4096 mm



Dit boek geeft u op een zeer eenvoudige manier een overzicht van de groei van een systeem. Het is een zeer eenvoudige manier om de groei van een systeem te beschrijven. Het is een zeer eenvoudige manier om de groei van een systeem te beschrijven.

Resultaten de oplossing van logaritmische problemen. In het eerste gedeelte heb ik de formules en Logaritmen" maken de leerlingen ook kennis met logaritmische problemen. Het is een zeer eenvoudige manier om de groei van een systeem te beschrijven. Het is een zeer eenvoudige manier om de groei van een systeem te beschrijven.

vervolgd op pagina 12



Ik heb u hiermee een idee willen geven hoe wiskundige begrippen in een herkenbare context aan duidelijkheid winnen en hoe bepaalde formules of structuren zelfstandig door leerlingen ontdekt kunnen worden. Dat de transfer naar andere toepassingsgebieden met een dergelijke

lijke aanpak ook soepeler verloopt, laat zich raden.

HEWET

De IOWO-visie op wiskunde-onderwijs wordt gesteund door een kleine groep pioniers die het aandurven, ondanks stringente examenprogramma's, met materiaal in de klas te werken als het boekje "Exponenten en Logaritmen".

Sinds kort echter, zijn deze IOWO-spullen in de volle belangstelling komen te staan van grote groepen leraren. Dit is vooral te danken aan het verschijnen van een opzienbarend rapport over de "herverkaveling van de eindexamenprogramma's wiskunde I en II" van de zogeheten *werkgroep Hewet*.

Dit rapport vond z'n uitgangspunt in de onbevredigende situatie van de VWO-wiskunde, zoals die sedert 1968 was ontstaan. Door het groeiend toepassingsbereik van de wiskunde in andere wetenschappen én door toelatingseisen van vele universitaire studierichtingen, waren steeds meer leerlingen - de vaak voor hen te abstracte - wiskunde I in hun eindexamenpakket gaan opnemen, met alle gevolgen van dien.

De werkgroep-Hewet nu, heeft in zijn rapport voorgesteld in plaats van wiskunde I (voor allen bedoeld, maar voor velen ontoegankelijk) en wiskunde II (voor de echte liefhebbers), een wiskunde A en wiskunde B in te voeren, waarvan de benaming al een indicatie geeft van de doelgroep.

Het voorgestelde wiskunde A programma is bestemd voor leerlingen, (...) *"die in hun academische studie weinig vervolgonderwijs zullen krijgen in de wiskunde, maar wel in beperkte mate de wiskunde als instrument moeten gebruiken"*.

Even verder in het rapport:

(...) *"Dit betekent dat de leerlingen in hun onderwijs de waarde van een wiskundig getinte presentatie moeten leren beoordelen. Daarvoor zullen ze vertrouwd moeten raken met gangbaar wiskundig taalgebruik, met formuleringen in formuletaal en met uiteenlopende vormen van grafische representatie. Verder zullen ze moeten leren werken met wiskundige modellen en de relevantie ervan kunnen beoordelen"*.

Deze doelen sluiten aardig aan bij de IOWO-visie waarvan ik u in het voorgaande een schets heb gegeven.

Als onderwerpen voor de nieuwe "wiskunde A" waarmee thans op twee scholen in Nederland wordt geëxperimenteerd staan op het programma:

1. Eenvoudige matrixrekening met toepassingen;
2. Toegepaste analyse;
3. Kansrekening en Statistiek;
4. Automatische Gegevensverwerking.

Het experiment zal in het schooljaar 1983-'84 worden uitgebreid met 10 scholen, een jaar later met 40 scholen, terwijl als alles goed gaat, in 1985 alle scholen in Nederland met wiskunde A in zee gaan. En zo ziet het er naar uit, dat de IOWO-geest, althans in de wiskunde A, kan voortleven en met deze goede boodschap besluit ik mijn verhaal.

diskussie

nav de lezing van de heer m. kindt

- de Jong : Ik heb halverwege je verhaal een probleem opgeschreven en ik denk 'daar gaat hij zo meteen over beginnen' maar dat deed je niet, misschien per ongeluk misschien met opzet. Je hebt in het begin gezegd, toen kregen we die grafieken te zien: "Ja, dat is dan mooi maar bij eindexamens gaat het fout bij het buigpunt en die maximale verandering , toen dacht ik dat je uit zou gaan leggen hoe dan dan opgelost moet worden, maar die oplossing heb ik niet gehoord. Het probleem blijft dus, in de grafiek van de maand mei zien leerlingen het wel en in de derdegraads funkties zien ze het niet. Wat moet ik daar nou aan doen?
- Kindt : Ja, maar dat is niet dezelfde leerling geweest. Ik denk dat als je een aantal van dat soort voorbeelden hebt gehad, die temperatuurgrafiek en nog wat van dat soort dingen dat dan de kans bestaat dat je zo'n vraag op dat eindexamen wel begrijpt. Dan moeten dat soort zaken natuurlijk doorlopend aan de orde komen want leerlingen vergeten gauw. Ik ben er inderdaad heel summier op ingegaan maar dat komt ook omdat het met de werkgroep van vanavond te maken heeft en daar moet ik ook nog wat voor overhouden. Maar, het waren twee totaal verschillende leerlingen, de gemiddelde havo leerling, want ik heb een gemiddelde score genoemd, heeft natuurlijk niet die benadering. Het is natuurlijk ook een kleine groep pioniers in nederland die met de IOWO wiskunde werkt. Ik hoop dat dat op de duur een positief effect heeft op de resultaten, maar dat moeten we eerlijk gezegd ook maar afwachten.
- Kinderdijk : Als ik het programma van die herverdeling zo zie dan vraag ik me het volgende af: Moeten leerlingen die naar de HTS willen gaan niet eigenlijk, wiskunde A en B doen en komen ze dan niet in pro-

blemen want ze willen graag op die HTS dat ze ook Duits en economie doen en dan hebben ze acht vakken. Is daar wel eens over nagedacht?

Kindt : Dit was een vwo programma en de toeleveringsschool voor de HTS is natuurlijk het havo, maar er zijn natuurlijk ook atheneum leerlingen die naar de HTS gaat alhoewel ik helemaal niet weet hoeveel dat er zijn. Ik zou iedere leerling, ook als hij natuurkunde of ekonometrie gaat studeren, wiskunde A en B gunnen, natuurlijk. Er is ook een voorlopige kruisjeslijst en daarin vragen alle technische vakken wiskunde B. Je zou ook in wiskunde B op een verwante manier kunnen werken. Je zou ook daar de analyse kunnen doen vanuit toepassingen, de werkgroep hewet is voorzichtig geweest en heeft niet alles meteen overhoop willen gooien. Je hoopt dan eigenlijk dat die wiskunde A op den duur zijn invloed zal hebben, ook naar de onderbouw toe. Meer kan ik er niet op zeggen.



Mechanika in PLON thema's

Drs A.E. van der Valk

In deze lezing wil ik U wat vertellen over mechanica in twee PLON thema's voor de onderbouw havo-vwo, die ook op de mavo gebruikt worden.

Het eerste voorbeeld komt uit het thema 'Bruggen', het eerste thema van de derde klas waarin een aantal onderwerpen uit de statica aan de orde komen.

Het tweede voorbeeld is uit het thema 'Verkeer en Veiligheid' waarin een aantal aspecten van de dynamica te herkennen zijn. Dit is een thema voor 3 havo/vwo en 4 mavo.

Eerst iets over de algemene opzet van 'Bruggen'. Er is een themaboek en er hoort ook een AVOL bij: een lerarenhandleiding vol informatie over didactische opzet, lessenplan, aanwijzingen, voorbeeld proefwerkvragen, problemen van leerlingen met sommige begrippen, achtergrondinformatie, enz. En, niet te vergeten, er zit een uitgebreide apparatuurgids in de AVOL.

Dit thema 'Bruggen' is het resultaat van circa 5 jaar uitproberen op proefscholen, bijschaven, onderzoeken en ervaringen uitwisselen. Het thema begon als deel van een lessenserie 'jouw omgeving' over konstrukties waarin de leerlingen allerlei dingen maakten en bouwden. De ervaringen in de klas gaven aan dat bouwen alleen niet voldoende was om dieper door te dringen in de natuurkunde die bij konstrukties komt kijken. Verder bleek in de loop van de experimenten dat het begrip kracht aan het begin van de derde klas erg moeilijk is en bij veel leerlingen niet in zijn geformaliseerde vektorvorm aanslaat. Dit heeft ertoe geleid dat er een apart boekje 'Krachten' is gemaakt. Daarover zal ik verderop meer vertellen.

PLON heeft gekozen voor een thematische aanpak van leerstof. Voor 'Bruggen' betekent dat dat de leerstof in dit thema in verband moet staan met bruggen maar ook hijskranen en andere konstrukties. Dat betekent dat in het thema wordt ingegaan op materiaalspanningen, de vorm van konstrukties, momentenwet en stabiliteit.

Vraagstukken bij het thema moeten iets met bruggen of konstrukties te maken hebben en niet plotseling gaan over situaties onder water of in een ruimteschip, tenzij de leraar speciaal ervoor heeft gekozen hetgeen in 'Bruggen' wordt geleerd te generaliseren. In een vwo-klas is dat wel denkbaar.

Om het één en ander toe te lichten laat ik U hier de inhoud van het thema zien.

Inhoud van 'Bruggen'

- Oriëntatie : 1. Bruggen in je omgeving
2. De vorm van bruggen
3. Uitzetten en inkrimpen van bruggen
- Theorie : 1. Materiaalspanningen in bruggen
2. Stevigheid en vorm
3. Gewicht en tegenwicht
4. Stabiliteit
- Onderzoeken : 1. Een brug bouwen, belasten en versterken
2. Een hijskraan bouwen
3. Een hijskraan en de momentenwet
4. Stevigheid en vorm
5. 'Laten draaien'
6. Stabiliteit

Leesteksten

De indeling van het themaboek stemt overeen met veel andere themaboeken van het PLON: een inleiding over de manier van werken in het thema. Daarbij wordt teruggerepen op een aantal dingen uit de tweede klas o.a. het werken in een groep en het werkvragen stellen, waar ik later op in ga.

Daarna komt een oriëntatiedeel met de vorm van bruggen. In de theoriehoofdstukken ziet U de leerstof terugkomen: materiaalspanningen, vorm en sterkte, momentenwet en stabiliteit.

De onderzoeken gaan vooral in op een speciaal deel uit de theoriehoofdstukken. Er is wat in te vinden voor de doegerichte leerling en ook voor de meer theoretisch ingestelde leerling.

De leesteksten geven achtergrondinformatie en worden vooral bij de onderzoeken gebruikt.

Het zal duidelijk zijn dat je als leraar niet zonder meer op bladzijde 1 van het boek begint en eindigt op bladzijde 95. De leraar moet keuzen doen. Hij plant zijn lessen via leeractiviteiten. Daarvoor maakt hij een lessenplan waarin hij het aantal lessen dat hij aan het thema besteedt, welke delen van het thema aan de orde komen en welke werkvorm hij daarbij kiest vastlegt.

Een voorbeeld van zo'n lessenplan voor 'Bruggen' is:

Voorbeeld lessenplan 'Bruggen'

les	het gaat over	werkvorm
1	inleiding oriëntatie op bruggen	groepswerk/ klassegesprek
2 t/m 5	theoriehoofdstukken	leergesprek/ proeven doen
6 t/m 9	onderzoeken (+ leesteksten) samenvatting	groepswerk/ leerlingen- demonstraties
10	proefwerk	

De leraar heeft een heel korte versie van 'Bruggen' gekozen. U ziet dat hij afwisselende werkvormen kiest. Via de leerlingdemonstraties komt de hele klas wat te weten over het onderzoek van één groep. Het proefwerk zal in het algemeen een gemeenschappelijk deel bevatten en een deel dat gedifferentieerd is naar de verschillende onderzoeksgroepen.

In de onderstaande figuur ziet U een onderzoek uit het thema. Het gaat over: een brug bouwen, belasten en versterken.

Onderzoek 1 **een brug bouwen, belasten en versterken**

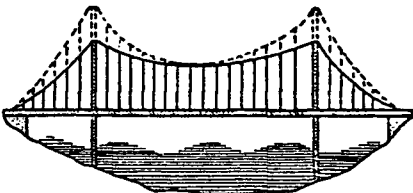
1.1 EEN BRUG BOUWEN: BOUWPLAN

1.2 BOUW JE BRUG

1.3 BELAST JE BRUG

1.4 VERBETER JE BRUG

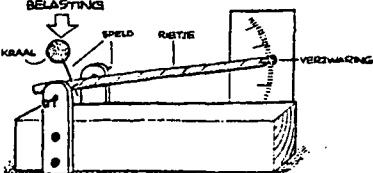
1.5 BRUGGEN VERGELIJKEN



ZO MAAK JE EEN doorbuigingsmeter

Met deze doorbuigingsmeter kun je de doorbuiging van een brug bij belasten meten. De meter zoals hier staat is gevoelig d.w.z. bij een kleine doorbuiging van de brug slaat hij al ver uit. Dat komt omdat de draaies van het rietje ver naar links zit.

1 Bouw onderstaande meter na.



2 Ijk de meter door links de kraal 1 cm naar beneden te duwen en rechts bij het uiteinde van het rietje 1 cm te schrijven. Doe dat voor een aantal waarden om de 0,5 cm. Maak tussen de getallen een mm-verdeling.

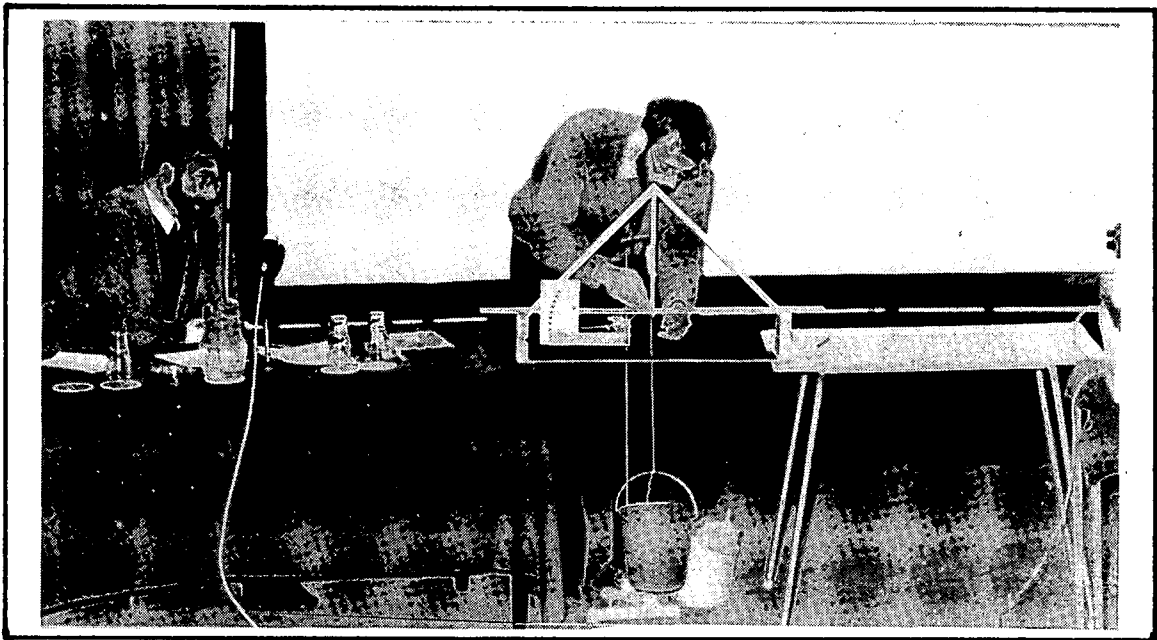
3 Gebruik de meter bij een zelfgebouwde brug. Weinig doorbuiging bij een grote belasting betekent een sterke brug.

Het is één van de 6 onderzoeken waaruit de leerlingen kunnen kiezen. Ze werken in groepjes aan de onderzoeken. Elk groepje kan een ander onderzoek nemen. In sommige klassen wordt er wel een wedstrijd gehouden: wie bouwt er de sterkste brug? De materialen en afmetingen van de brug worden dan vastgelegd. Na het onderzoek demonstreert iedere groep zijn onderzoek voor de klas. De klas zal de belangrijkste resultaten van het onderzoek moeten kennen.

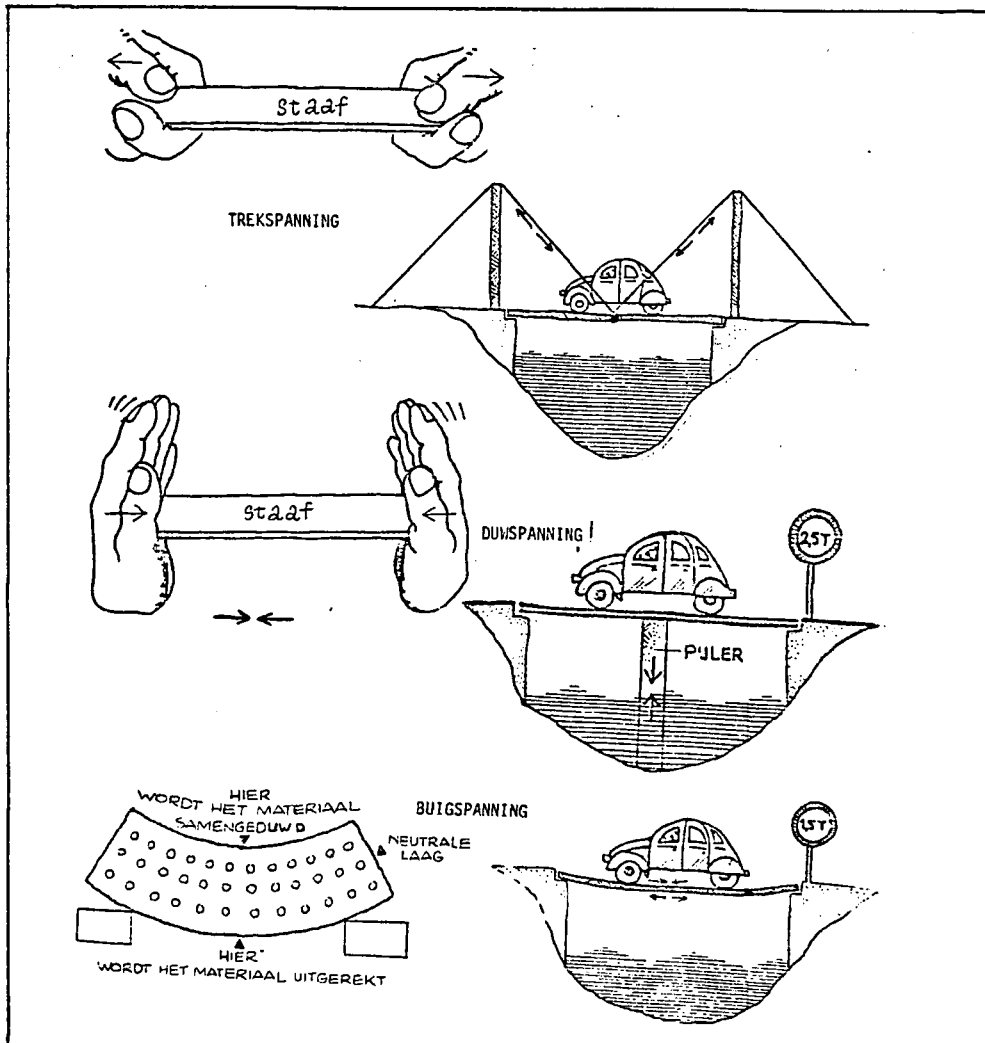
Ik zal nu een brug demonstreren en daarbij laten zien wat er natuurkundig, of technisch, aan te beleven is. Het model wat we hier hebben is niet door leerlingen, maar speciaal voor deze gelegenheid gemaakt.

We nemen eerst alleen een wegdek: een stuk triplex. U kunt zien dat het door zijn eigen gewicht al doorzakt. Als we het wegdek belasten, zal die meer doorzakken. Hoeveel de doorbuiging is kunnen we met een 'doorbuigingsmeter' (zie figuur op blz. 32) meten. Het eenvoudige meetapparaat kan door de leerlingen zelf gebouwd worden.

U ziet het: een belasting met $\frac{1}{2}$ kg geeft al een flinke doorbuiging. We kunnen de brug steviger maken met een bovenbouw, die we van hout maken: een driehoek met een verticale staaf die het midden ondersteunt.



Als ik de brug nu ga belasten buigt die al veel minder door: de brug is steviger geworden. Voor leerlingen heeft dit een verrassingselement: de bovenbouw van een brug is geen kwestie van schoonheid: het heeft een duidelijke functie! Bij onderzoeken bleek dat een belangrijke leerervaring te zijn. Nu moet de brug verder verbeterd worden. Uit het theorie-deel weten de leerlingen iets over trek- en duwspanningen. Ze kunnen gaan kijken waar hier de trek- en duwspanningen in de bovenbouw optreden.



In de balkjes van de driehoek werken duwspanningen en in de staaf een trekspanning. Zij zouden zich kunnen afvragen: zou de brug sterker worden als de staaf door een touwtje wordt vervangen ?

Daarmee stellen ze een 'werkvraag'. Dat hebben ze in de 2e klas al geleerd: een vraag stellen die jezelf kan onderzoeken. Het aardige hier is dat zo'n vraag kan ontstaan uit het samengaan van verwondering en theoretische kennis over trek- en duwspanningen. Andere werkvragen kunnen zijn: wordt de brug sterker als ik meer verticale staven aanbreng ? Als ik een verbinding tussen de twee driehoeken maak ? Als ik een boog in plaats van een driehoek zou nemen ?

Het antwoord op de werkvraag kan steeds experimenteel nagegaan worden. Voor de vergelijking is de doorbuigingsmeter steeds van groot belang.

Wat leren de leerlingen door dit onderzoek nu van mechanica ?

Ze leren veel van mechanica. Maar niet in formele termen: zo van een kracht van 5N, vektoren, aangrijpingspunten en dergelijke.

Wel 'gevoelsmatiger'. Meer van: als je hier op de brug iets neerzet heeft dat

een effect op een ander punt. Er gebeurt wat in de balk waardoor het effect wordt doorgegeven. De balken komen onder spanning te staan. En als de spanning te groot wordt gaan er vervormingen optreden of breken ze zelfs.

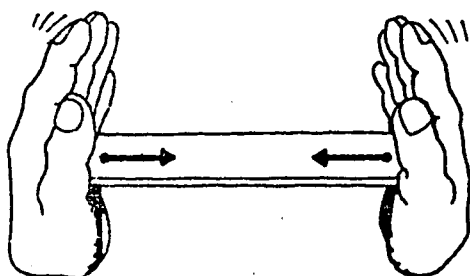
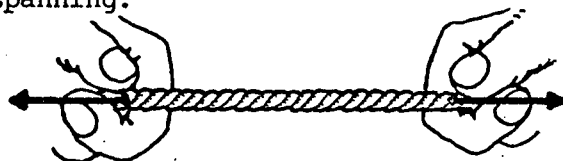
Dit 'gevoelsmatig' ervaren van het effect van een kracht moet ons inziens vooraf aan de formele invoering van kracht.

Die formele invoering stond tot vorig jaar ook in "bruggen". Toen werd er niet over trekspanning en duwspanning gepraat, maar over 'trekkracht' en 'duwkracht'. Dat bleek erg moeilijk voor de leerlingen. Enerzijds hoorden ze dat er kracht op één punt werkt en anderzijds zagen ze dat door die kracht er iets aan een hele balk of een heel touwtje veranderde. Vaak spraken de leerlingen dan ook van : deze balk is een 'duwkracht' en dit touw is een 'trekkracht'. Kracht werd geïdentificeerd met het onderdeel waarin dit werkte.

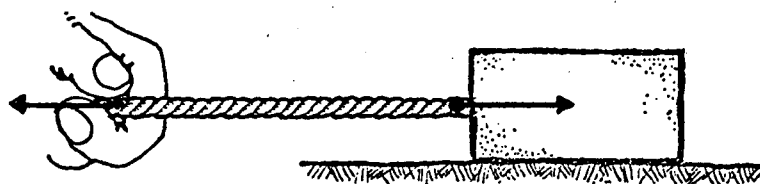
Nu wordt het begrip kracht en het vektorkarakter ervan stap voor stap ingeleid in het boekje 'Krachten'. Daarvan wil ik een stukje laten zien.

krachten en materiaalspanning

Als je met twee handen aan de uiteinden van een touw trekt, dan ontstaat er in dat touw een trekspanning.



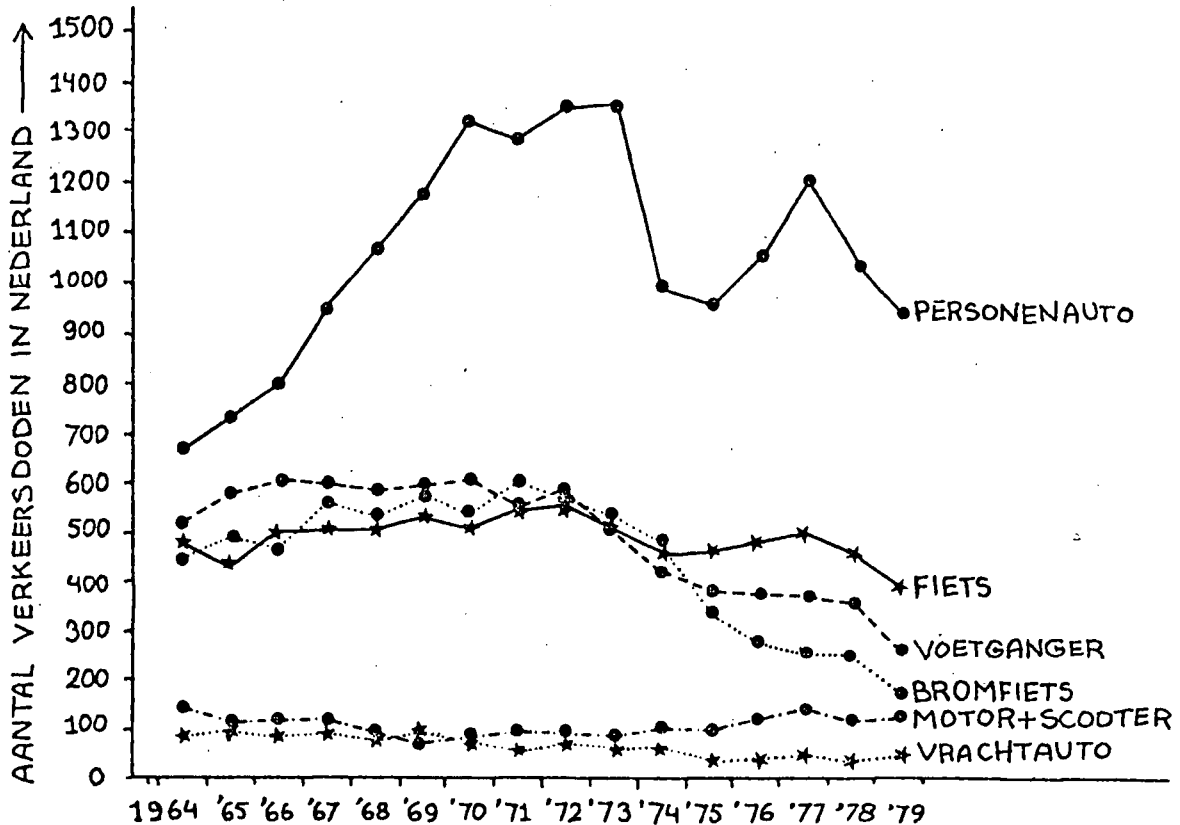
Nu trek je met het touw aan een blok. Het touw is dan gespannen. In het touw zit dus een trekspanning. Dat kan alleen als er aan twee kanten aan het touw getrokken wordt. Aan de ene kant trekt je hand en aan de andere kant moet er dus door het blok aan het touw getrokken worden.



Uit: het boekje 'Krachten'

Op deze bladzijde ziet U hoe het begrip materiaalspanning en kracht aan elkaar geknoopt worden. Aan het eind van het boekje krachten moeten leerlingen de krachten die optreden in ons brugmodel bij belasting vektorieel kunnen tekenen en uitrekenen in één punt. Naar de ervaringen met het thema "Bruggen" zoals het er nu uit ziet en het boekje 'Krachten' wordt een onderzoek gedaan.

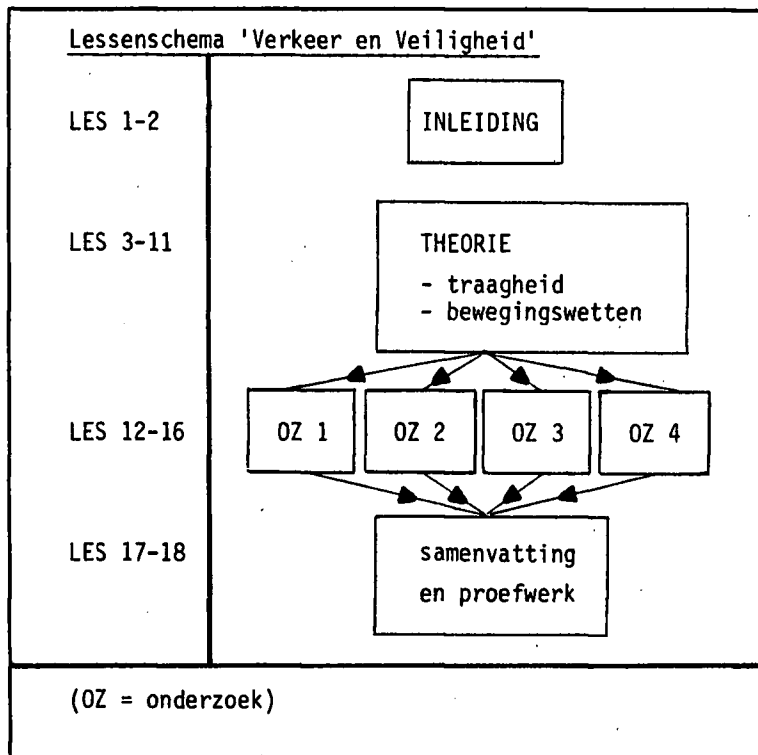
De inleiding gaat in op verkeersveiligheid. Als inleiding op het thema kijken de leerlingen naar de grafiek van het aantal verkeersdoden van de laatste jaren.



Ontwikkeling van de aantallen verkeersdoden in Nederland naar wijze van de deelname aan het verkeer in de jaren 1964 t/m 1979.

Aan de hand van vragen over de verplichtstelling van bromfietsshelmen en veiligheidsgordel in 1975 kijken ze naar deze grafiek. De oorzaken van het afnemen van het aantal doden is overigens complex: zaken als energiekrisis, alcoholwet, afname van het aantal brommers speelt een belangrijke rol. Na deze oriëntatie volgt het theorie deel van het thema. Eerst een hoofdstuk over traagheid en krachten bij konstante en veranderende snelheid. Daarna komt een hoofdstuk over twee 'bewegingswetten' waarop ik zo dadelijk dieper wil in gaan. Verder volgt het onderzoeksdeel met onderzoeken over veiligheidsgordel, veilige snelheid en reaktietijd, bromfietshelm en kreukzone. Daarachter staan leesteksten over veilig verkeer; wat moet je doen bij een verkeersongeluk, het kopen van een helm, botsproeven en dergelijke.

Ook in dit thema vindt de lessenplanning plaats via een lessenplan dat ik hier in schema heb weergegeven.



Vooraf in de inleiding en in de onderzoeken komt het maatschappelijk aspect aan de orde. Vind je juist dat het dragen van een bromfietshelm verplicht is? Wat vind je van de alcoholwet?

Voor de discussie over dit soort vragen kan afhankelijk van de leraar, leestijd worden ingeruimd. Bij evaluatie blijken deze vragen ook in een belangrijk leereffect te sorteren. Zo antwoordt een leerling op de vraag: 'wat heb je in het thema 'Verkeer en Veiligheid' geleerd?', 'vooral de autogordels en de bromfietshelmen zijn heel nuttig, als de mensen ze niet om hadden, zouden ze een flinke bekeuring moeten hebben'.

Ik wil nu verder ingaan op de bewegingswetten die in het thema gebruikt worden. Deze geven het verband weer tussen kracht, massa, snelheidsverandering enerzijds en tijd in de 1e wet en afgelegde weg in de tweede wet.

Hier ziet U die twee wetten:

$$F \cdot t = m (v_{\text{EIND}} - v_{\text{BEGIN}})$$

$$F \cdot s = \frac{1}{2} m v_{\text{EIND}}^2 - \frac{1}{2} m v_{\text{BEGIN}}^2$$

In de vorige versie van 'Verkeer en Veiligheid' werden deze wetten vrij plotseling ingevoerd. Met het gevolg dat het vrij veel moeite kostte de leerlingen inzicht te geven in de formules zodat ze konden weten in welke situatie de eerste en in welke situatie de tweede wet gebruikt moest worden. Dat hangt immers ervan af of de tijd dan wel de weg belangrijk is in de gegeven situatie. We hebben in deze versie de oplossing van dat probleem enerzijds gezocht door de leraren op dit punt te wijzen in de AVOL en in de lerarenbijeenkomst. Anderzijds hebben we een kwalitatieve proef toegevoegd die bedoeld is om de leerlingen inzicht te geven in de samenhang van de verschillende grootheden. Die proef gaat zo: een leerling gaat op een fiets zitten en wordt door een medeleerling aan een unster voortgetrokken gedurende b.v. 2 of 4 sec. Hoe langer getrokken wordt, hoe groter de snelheid. Maar de weg neemt sneller toe. Een grotere kracht levert meer snelheid op; een grotere massa (2 leerlingen op de fiets) een kleinere snelheid (zie ook het verslag van de werkgroep (leer)ervaringen met 'Verkeer en Veiligheid'proeven).

De twee bewegingswetten worden verder niet afgeleid maar gegeven als ervaringswetten: naar de ervaring van natuurkundigen kun je met deze wetten redelijk de grootte van bijvoorbeeld de krachten bij een botsing voorspellen. Niet precies. Fysisch is dat wel in te zien. De eerste wet betreft de gelijkheid van stoot en impuls. Zoals dat hier staat geldt het alleen exakt voor een éénparig versnelde beweging. Maar dat soort bewegingen vind je misschien alleen in een laboratorium en zeker niet in verkeerssituaties. Daarom zijn we ook maar niet van zo'n geïdealiseerde situatie uitgegaan. Liever nemen we de complexe reële situatie.

De tweede wet is de wet van arbeid en kinetische energie. Ook voor een konstante kracht. Na de introductie van deze wetten worden ze toegepast in een aantal praktikumsituaties waarin alle grootheden uit de formules gemeten kunnen worden: remmen en versnellen van karretjes met tikkerstroken, fiets afremmen en dergelijke. De uitkomsten blijken redelijk te kloppen, de afwijkingen bedragen soms 20% of nog meer, vooral bij de fietsproef.

De behandeling van de mechanica wijkt ook in dit thema nogal af van de traditionele manier.

Daarvoor zijn twee belangrijke redenen aan te voeren.

1. De grootheden in de bewegingswetten zijn makkelijk voorstelbaar voor leerlingen. Ze zijn ook direkt meetbaar. Dit in tegenstelling tot b.v. versnelling.

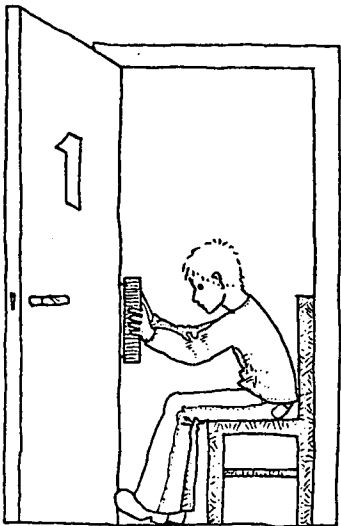
2. Met deze wetten kun je zowel aan botsingen als aan andere bewegingen makkelijk rekenen. Met de traditionele formules komen leerlingen er bij botsingen nauwelijks uit.

Beide redenen zal ik toelichten.

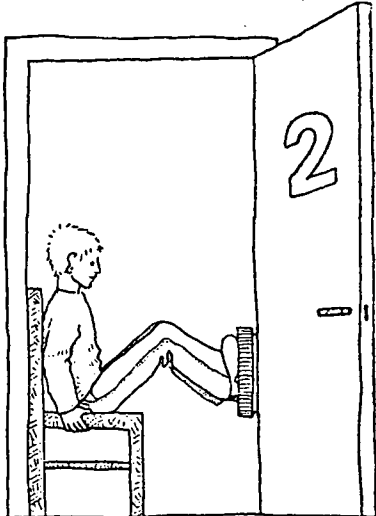
In een aantal opdrachten worden berekeningen gemaakt over krachten bij botsingen. Die blijken verrassend groot te zijn als ze worden vergeleken met de krachten die de leerlingen zelf met armen en benen kunnen uitoefenen.

2.8 WELKE KRACHTEN KUN JE UITOEFENEN?

PROEF 14 Jouw kracht in armen en benen



Ga met een ruggesteun voor een vertikaal opgestelde weegschaal zitten en druk de weegschaal met je armen zo hard mogelijk in.
Hoe groot is de *kracht* die je met je armen kunt uitoefenen?



Doe hetzelfde met je benen.

Hoe groot is de kracht die je met je armen en benen tegelijk kunt uitoefenen?

Op dit punt blijken de formules van de bewegingswetten noodzakelijk te zijn. Zonder die formules zouden de leerlingen geen idee van de grootte van de botskrachten hebben.

Bij evaluatieonderzoek geven de leerlingen dan ook als één van de belangrijkste leereffekten aan de ondervinding dat er bij botsingen zulke grote krachten optreden. Opvallend is dat ze na het thema die ervaringen in fysische termen - met kracht - remweg, enz. weergeven. Met name vanwege het rekenwerk vinden ze 'Verkeer en Veiligheid' moeilijk. Maar ze vinden het desondanks ook heel leuk.

De bewegingsvergelijkingen worden in de onderzoeken toegepast op veiligheids-gordel, bromfietshelm, veilige snelheid en kreukzone.

Ik zal als voorbeeld iets over de bromfietshelm zeggen. Een bromfietshelm heeft 4 functies:

1. De kracht bij een botsing wordt over een groot oppervlak verdeeld: de druk op het hoofd wordt verkleind.
2. De kracht wordt bovendien verkleind omdat de remweg vergroot wordt door verende ophanging van de helm om het hoofd. Om dit te begrijpen zijn de bewegingswetten nodig.
3. Schaafwonden kunnen worden voorkomen.
4. De kracht van een wiel die over een hoofd rijdt kan opgevangen worden.

Nu gaat het ons vooral om eigenschap 2. Zonder de verende ophanging van de helm op het hoofd heeft de helm een veel kleinere effectiviteit. Voor het begrijpen van het nút van de helm blijkt het volgende zeer verhelderend te zijn. Laten we het hoofd vergelijken met een ei. De schaal van het ei is maar in zeer beperkte mate verend en breekt vrij snel. We zullen eens een schatting maken van de grootte van de kracht als het ei van zo'n hoogte op de grond valt en heel zou blijven. In the themaboek staat gegeven dat de snelheid net boven de grond in dat geval 6,3 m/s is (23 km/h).

Laten we een schatting maken van de afstand waarover de eierschaal ingeduwd kan worden. Eén millimeter lijkt me al heel wat. Stel nu dat het ei over die ene millimeter de volledige 6,3 m/s zou moeten afremmen. Hoe groot is de (gemiddelde) botskracht dan ?

De tweede bewegingswet levert de oplossing:

$$F \cdot s = \frac{1}{2} m v_{\text{eind}}^2 - \frac{1}{2} m v_{\text{begin}}^2$$

De massa van een ei is ongeveer 50 g.

$$F \cdot 0,001 = \frac{1}{2} \cdot 0,050 \cdot 6,3^2$$

dat levert 1000 N op !

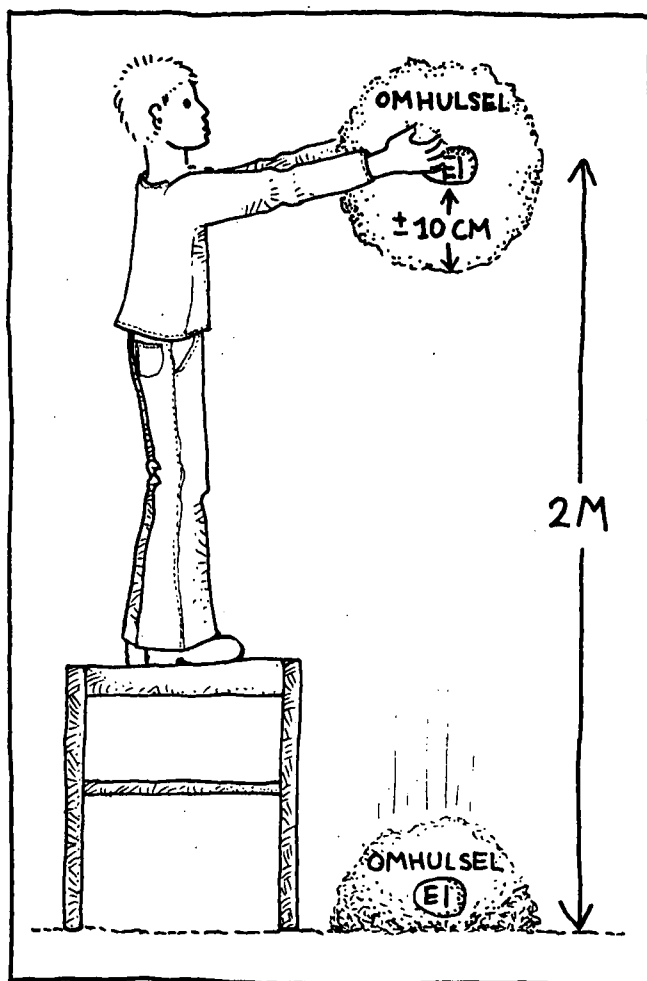
Ik denk niet dat het ei dat kan hebben. Maar op een andere wijze kunnen we het wel laten vallen. Als we de botsweg eens groter zouden maken door het ei met een flinke laag watten te omgeven.....

We nemen een laag van 10 cm.

Eerst even de te verwachten botskracht uitrekenen:

$$F \cdot 0,1 = \frac{1}{2} \cdot 0,050 \cdot 6,3^2$$

Dat levert 10 N op. Dat zal het ei wel houden. Dus laten we het maar proberen.



Op brommers kan de snelheid aanzienlijk hoger liggen en de massa's zijn groter.
Dus de krachten ook !
Met de traditionele formules voor de mechanica is hetzelfde resultaat te bereiken, maar met aanzienlijk meer moeite en rekenarij.

$$F = m \cdot a$$

$$S = V_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$a = \frac{V_{\text{eind}} - V_{\text{begin}}}{t}$$

Je hebt er drie formules voor nodig, wat nu in één formule kan.
Verder heb je het begrip versnelling nodig wat al een flink moeilijk begrip is in de vierde klas havo ! Versnelling wordt overigens in 'Verkeer en Veiligheid' ook ingevoerd, maar na de bewegingswetten. Die formule volgt uit de eerste bewegingswet. Voor het thema zelf is dat begrip van weinig belang. Kennelijk hebben de leerlingen dat goed door want bij onderzoek blijkt steeds weer dat

ze het begrip versnelling maar zelden uit zichzelf gebruiken. Dit ondanks het feit dat de leraren dat begrip toch uitgebreid behandelen. Want verderop in de cursus is het, met name in verband met de valversnelling, wel een belangrijke grootheid.

Dan is er nog de botstijd. Die is bij de traditionele formules nodig, maar wordt in de 2e bewegingswet omzeild. Het feit dat de botsing een bepaalde tijd duurt is iets dat vele leerlingen maar met veel moeite inzien. Dat is onze ervaring en dat is ook bij buitenlandse onderzoeken gebleken.

Een ander voorbeeld waarbij de botsweg een belangrijke rol speelt is het snappen waarom een veiligheidsgordel in de auto rek moet hebben.

De veiligheidsgordel heeft 3 functies:

1. grotere remweg dus kleinere kracht
2. kracht grijpt aan op sterkere delen
3. drukverdeling

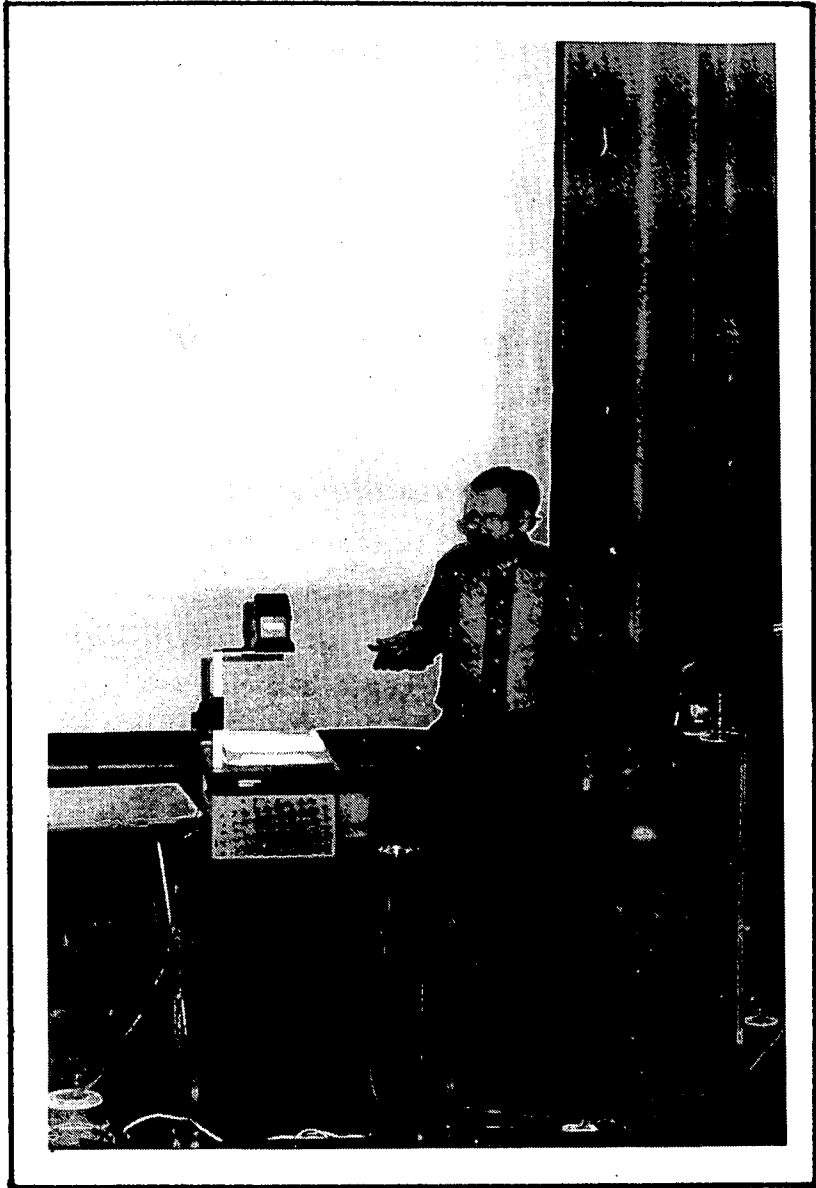
Een bekend misverstand bij velen is dat de gordel alleen de functie heeft te voorkomen dat het hoofd door de voorruit slaat. Maar bij het dragen van strakke gordels zonder rek zouden er bij een botsing toch nog erg grote krachten optreden met nare gevolgen van dien.

Een andere misvatting die we zijn tegengekomen is dat de remweg door de gordel kleiner zou worden, de rek van de gordel is kleiner dan de afstand tot de voorruit. Vergeten wordt daarbij dat als iemand zonder gordel tegen de voorruit schiet er over die weg maar van een kleine remkracht sprake is zodat zijn snelheid nauwelijks wordt afgeremd.

Ik ben aan het einde gekomen van mijn verhaal. Ik hoop dat ik wat heb kunnen overbrengen hoe het PLON de mechanica in de thema's gebruikt en wat de redenen zijn om zo sterk van de traditionele paden af te wijken.

Het PLON-materiaal is voor iedereen in de klas te gebruiken. Er zijn goede ervaringen opgedaan, zowel met het gebruik van de leergang als geheel, als met het proberen van een enkel thema in de tweede of derde klas. Wie meer informatie wil kan die bij ons krijgen.

Wegens een technisch mankement aan de cassette-recorder is verslaggeving van de discussie, naar aanleiding van de lezing van Ton van der Valk, niet mogelijk.



Omgaan met natuurkunde

Jr H.M. Mulder

De eigenlijke voordracht had gisteravond plaats, toen U ons kwam opzoeken op de markt. Wij namen toen onze elektromagnetische hoed voor U af. Nu sta ik hier in mijn ééntje, wat verlaten. Immers wat is een natuurkundeleraar zonder spullen? Het is daarbij als bij een voetbalmatch: wat is een reporter zonder voetbalwedstrijd? Toch presteren wij dat nog al eens: verhalen afsteken zonder contact met de realiteit, want een natuurkundeles zonder experimenten is inderdaad een wedstrijdreportage zonder spelers.

De eerste leermeesters in het natuurkundelokaal zijn de moleculen zelf. De leraar fungeert alleen als een hopelijk ervaren gids. Het experiment bezit meer overtuigingskracht dan de leraar. In mijn schoolperiode was de natuurkundeproef een beloning voor goed gedrag tijdens de les.

Er is in de loop van de tijd veel ten goede gekeerd.

Wat methoden als DBK en PLON aan werkmateriaal afleveren verdient ons respect.

Het valt hierbij vooral op dat het materiaal zich kenmerkt door eenvoud. De paperclip, het elastiekje, de kurk hebben een opvallende functie. Het appeleert aan dingen van alle dag; het nodigt ook uit om zelf aan de slag te gaan.

Natuurkundig huiswerk zou zich vaker in de keuken, de fietsenkelder, de werkplaats moeten afspelen.

Ouders van mijn leerlingen roepen 's avonds nog al eens naar hun kinderen: 'Jan, zou je niet eens aan je huiswerk beginnen?' Jan roept dan: 'Daar ben ik juist mee bezig'. Hij is namelijk derde klasser en stond bij de stoppenkast het aantal omwentelingen van de kilowatturenmeter te tellen om het vermogen van het televisietoestel te meten.

En hier kom ik dan aan een punt waar ik graag in dit gezelschap een pleidooi voor wil houden.

Ik noem dat de vierde weg in het natuurkunde-onderwijs.

De eerste weg is de demonstratieproef, de tweede het theoretisch betoog van de docent, de derde het leerlingenpraktikum en de vierde de praktische huiswerkopdracht.

In dit laatste geval moeten leerlingen voor hun huiswerk niet leren (een woord dat mij met de dag onsympathieker klinkt), maar verrichten ze metingen en moeten daartoe ook nog vaak de benodigde apparatuur zelf maken. Kunnen is interessanter dan kennen.

U heeft daar op de tentoonstelling de nodige voorbeelden van kunnen vinden. Er lag een zelfgemaakte tijdtikker, die aangesloten was op een beltransformator en waarmee een aantal voortreffelijke metingen te doen is. (startversnelling van een fiets, de gravitatie). Als leraar ervaar je bij dit soort activiteiten evenveel illusies als desillusies. Wat vindt U van een leerling die de elektriciteitsmeter niet kon aflezen omdat er een kist aardappelen voor stond ?

Het voornaamste probleem is echter de onhandigheid van de mensen. Dit is waarschijnlijk een gevolg van technische hoogconjunctuur, want bij zogenaamde primitieve volken is dat duidelijk heel anders. Deze mensen kunnen heel veel dingen zelf maken en gebruiken daarbij alleen een mes. Het zou beter zijn als we het geld dat we thuis investeren in een pompeuze badkamer zouden besteden aan een bescheiden werkplaatsje.

U moet eens kijken wie bij U op school, behalve de amanuensis, met een hamertje uit een paperclip een recht draadje kan tikken. Nu hebben we tegenwoordig zelfs het vak handvaardigheid, maar stelt U zich daar niet teveel van voor.

Zij zoeken het meestal in het artistieke en niet in het ambachtelijke. Als je leerlingen op het idee brengt stoom te sturen door een holle traproede om de uitzetting van ijzer te meten (ze hebben een compleet stencil ter beschikking), krijg je de volgende morgen van de moeder een briefje onder ogen waarop staat: 'Marietje noch ik konden het experiment klaar krijgen'.

Bij tweede en derde klassers lukt dit soort werk nog het best. Zij zijn nog redelijk fanatiek. In die klassen wordt vaak een huiswerktaak opgegeven die vele weken in beslag neemt. Sommigen werken er graag nog zondagen en vakantie-dagen aan. Tweede klassers maken een eenvoudig type brievenweger van karton, die als krachtmeter geijkt wordt (massa van 1 cent 2 gram !).

Met dat zelfgemaakte apparaat worden dan wegingen gedaan, opwaartse krachten gemeten en indirekt ook dichtheden van bepaalde stoffen. Van sommigen krijg je een dik verslag. Ik weet nu zelfs de opwaartse kracht van een augurk in azijn. De amanuensis beoordeelt de werkstukken, de leraar de verslagen. Voor de besten is er als beloning een excursie naar een weegwerktuigenfabriek georganiseerd. Later in dat jaar volgt nog een onderzoek naar ladingen. Met behulp van twee zelfgemaakte elektroskopen en wat simpele spulletjes wordt het hele ladingsgebied kwalitatief onderzocht. In het volgend jaar volgen weer twee van dergelijke taken, één gewijd aan stroommeting en één aan lenzen.

Zijn wij op deze manier niet bezig in de stijl van de oude onderzoekers ? Moesten mannen als Faraday, Galileï, Newton niet eerst hun eigen spulletjes maken, voordat ze aan enig onderzoek konden beginnen ?

Mijn derde klassers stropen alle opticiens van de stad af op zoek naar geschikte brilleglazen (bolle lenzen). Daarmee experimenteren ze een lange periode thuis, ze bepalen de brandpuntsafstand, meten de vergroting en controleren de lenzenformule. Als eindstunt proberen ze een camera te maken, waarmee zelfs foto's geproduceerd worden en ze maken met kartonnen rollen een microscoop, een telescoop of een toneelkijkertje.

Het tweede werkstuk in zo'n derde klas is het maken van een bruikbare stroommeter. Draad wordt afgewikkeld van een oude spoel of transformator en gewikkeld op de hulp van een luciferdoosje. Als de meter klaar is, wordt die in een vrij uur geijkt met een echte meter van de school. Ze kunnen kiezen uit vier typen, waarvan ze een bouwtekening meekrijgen. De leerlingen onderzoeken met die meter begrippen als gelijkstroom, wisselstroom, lineaire schaal, weerstand e.d. zelf. Oudleerlingen, die inmiddels de universiteit gepasseerd zijn, vertellen trots dat ze hun stroommeter nog steeds hebben ! De voornaamste gedachte bij dit alles is: alles wat jezelf klaar krijgt, heeft meer betekenis. Er zit een stuk uitdaging in, wat bij kant en klare spullen niet het geval is.

Daarmee kom ik vanzelf op een volgende gedachte inzake instrumentarium. Vorige week heb ik bij vijfde klassers de snelheid van elektronen gemeten. Uitkomst: 9000 km/s. Ik was daar zelf redelijk geëmotioneerd van en meende dat er vandaag in de school moeilijk nog wat indrukwekkenders te beleven zou zijn ! Zelf keken ze redelijk apatisch toe. De verklaring lijkt eenvoudig.

Als we zien hoe alleen de technisch-onderwijs-assistent nog weet, hoe alle verbindingen gemaakt moeten worden, dan vraag ik me af in hoeverre die vijfde klassers nog met lijf en geest contact met het gebeuren kunnen hebben. Neen, dan hadden ze een trotser gevoel toen ze een paar jaar geleden 100 eigen gemaakte stroommeters in de vitrines zagen staan. Sommigen waren zelfs met zilverbepaling beplakt, om het heel voornaam te maken en sommigen hadden de grote mensen al geïmiteerd door er een kast om te bouwen, zodat je het meeste niet meer kon zien. Zo meen ik dat de gravitatie meten met een stemvork en een vallende roetplaat interessanter is dan met een millisekondeklok gekoppeld aan twee fotocellen. U kunt al tijdmeters krijgen met 5 cijfers achter de komma. Vindingrijkheid bij het zoeken naar meetmethoden moeten we hoger aanslaan dan de nauwkeurigheid van de uitkomst.

Er lijkt in het onderwijs een grote behoefte aan simpele doorzichtige apparatuur te bestaan waarbij de onderdelen zichtbaar aanwezig zijn.

Het meten van de haardikte met een micrometer, de luchtweging, de bepaling van de luchtdruk (in bakstenen per cm^2 , een normale brabantse drukeenheid) en dergelijke zijn voor tweede klassers zeer opzienbarende gebeurtenissen. Deze ervaringen zijn voor hen waardevoller dan het aanhoren van de afstand tussen aarde en zon. Het is voor een leerling verrassend te ervaren dat hij niet sterk genoeg is om de lucht in het lokaal te dragen terwijl 1 liter lucht toch maar een massa van 1 gram heeft. Hij had ook nooit verwacht dat het lokaal een volume heeft dat een paar duizend keer groter is dan dat van zijn eigen lichaam. De industrie zal gelukkig maar ten dele de ons dienstige apparatuur kunnen leveren en de creativiteit van amanuensis en leraar staat aan de basis van fysisch onderzoek op school.

Volgens mij heeft een tijdschrift als Archimedes daarin ook een speciale opdracht: ideeën aandragen voor oplossingen van klassieke problemen en nieuwe bedenken.

Een kollega die zojuist vertrokken is naar Afrika schreef mij: 'de natuurkunde hier is sterk mathematisch, verbaal, theoretisch, een papieren vak. Gelukkig heb ik een flink partijtje hollandse tijdschriften meegenomen en daar hoop ik dan voldoende inspiratie uit te putten'.

Lang heeft men ook gedacht dat praktikum in de examenklassen, alleen mogelijk zou zijn als men over een voldoende budget beschikt om geavanceerde apparaten aan te kunnen schaffen. Ik wil niet zeggen dat leerlingen niet moeten leren daarmee om te gaan en ik denk daarbij aan een oscilloscoop of een toestel van Franck en Hertz. Maar volwaardige fysieke arbeid kan ook al verricht worden met polshorloge en lineaal zoals Galileï ons al heeft laten zien.

Leerlingen van 6-atheneum hebben vaak onderzoeken gedaan met weinig hulpmiddelen. Een voorbeeld: laat een waterstraal in de gootsteen spuiten. In de bak ontstaat een cirkel. Waarvan hangt de straal af? Dat is weer weken werk. Leerlingen werken graag aan puzzelachtige opgaven; gevallen met diverse mogelijkheden, onderzoeken hoe de zaak werkelijk in elkaar steekt, meten en kiezen. Hiervoor is een black-box uitstekend geschikt en U heeft er dan ook een paar op de tentoonstelling kunnen zien.

De filosofie hierbij is: het komt in het leven vaak voor dat je iets moet onderzoeken, terwijl je een bepaald systeem niet open mag maken. Je moet dan door uitwendige metingen zien te achterhalen hoe de zaak van binnen in elkaar zit.

Artsen verrichten meestal zo hun onderzoek (U vindt het toch ook niet leuk als ze U bij een onderzoek meteen opensnijden?) en juristen ook.

Graag wil ik nog het een en ander opmerken over het natuurkundelokaal zelf. In school vind je altijd lokalen met een uitgesproken karakter en ook gezichtsloze ruimten, fietsenstallingen voor mensen. Van vaklokalen mag toch in ieder geval verwacht worden dat ze een eigen gezicht vertonen.

Het is alleen jammer dat het vaak niet meer is dan de architect erin geïnvesteerd heeft, de gaskranen, de elektriciteitskast, het krijtbakje.

Het zal U bekend zijn dat een hond die een park ingaat alle bomen merkt met zijn aanwezigheid. Zouden we van zo'n hond iets kunnen leren ?

Veel natuurkundelocalen hebben vitrines die permanent leeg staan, als opslagruimte benut worden of een kollektie aardige dingen herbergen, die er inmiddels al zo lang staan, dat niemand ze meer opmerkt.

Monteer eens aan de buitenkant van een vitrine een schakelaar. Wachtende leerlingen kunnen de knop indrukken en dan moet er wat gebeuren. Er kan bijvoorbeeld een meter uitslaan, bijvoorbeeld die magnetische hoed, maar er kunnen ook veel spannender dingen gebeuren. Zo vindt A.H. ook zijn klanten, via de etalage. Als het enigszins kan moet het verrassend zijn, zodat leerlingen al diskussiëren voordat de leraar er is en de les begonnen is. Bij ons zorgt een relais ervoor dat na een tiental sekonden de stroom weer uitvalt.

Is het niet mogelijk in de vitrines wisselende tentoonstellingen te zetten, die wel een duidelijk verband met ons vak hebben ?

Ideeën ? Laat Uw leerlingen thuis aan tafel eens kijken hoe gram wordt geschreven op verpakkingen van etenswaren. Dat gebeurt op wel 15 manieren. Maak van die spullen een tentoonstelling. Zo verzorgde een juwelier voor ons een tentoonstelling van kristallen en edelstenen.

En dan komen we bij het lokaal zelf uit. In een natuurkundelokaal zouden blikvangers moeten zijn, waarvan leerlingen zeggen: 'Meneer, wat is dat ?'

Zo zijn wij een beetje trots op een lange veer, waarbij 300 windingen aan 300 schroefoogjes over de totale lengte van 11 meter aan het plafond hangen. De amanuensis heeft aan één eind een golfopwekker, zowel transversaal als longitudinaal aangebracht met een regelbare frekwentie. De klas kan zien hoe een stoot in 4 sekonden van het ene eind via het andere weer terugkeert en zo kunnen ze eindelijk eens direkt de voortplantingssnelheid van golven meten. De beide golfformules zijn met dit apparaat prima te testen. De proef is bepaald spectaculair. Ook de beide typen staande golven zijn prima stationair in te stellen. Een dergelijke proef fascineert en versiert tegelijk.

Laten we fraaie dingen die achter gesloten schuifpanelen staan in het zicht halen. Stel bepaalde proeven permanent bedrijfsklaar op.

De titel van mijn verhaal is 'Omgaan met Natuurkunde'.

Ik kom nu tot een voor mij vrij belangrijke gedachte. Het onderscheid tussen leerlingen en leraren is gradueel, niet essentieel. Ik bedoel, dat we van leerlingen niet mogen verlangen dat ze zich van harte met wetenschap bezig houden, als wij daar zelf ook geen sporen van vertonen. Dat laatste zou op vele manieren kunnen.

Sommigen zijn geabonneerd op vaktijdschriften, andere bereiden schooluitgaven voor, anderen prepareren in teamverband nieuwe onderwijstechnieken.

Wie zijn oor te luisteren legt bij wat leerlingen zeggen en vragen, wie dieper ingaat op de leerstof van alle dag, ziet zichzelf gekonfronteerd met onvermoede problemen. Dingen die tientallen jaren als vanzelfsprekend ervaren werden kunnen als nieuw tevoorschijn komen. Eén vraag van een leerling kan plotseling iets al zijn vanzelfsprekends ontnemen. En dat betekent ook voor de leraar: studeren.

De meeste artikelen die ik in de loop van jaren in de tijdschriften (Pythagoras, Archimedes, De Jonge Onderzoeker) heb geschreven vonden zo hun geboorte in het klaslokaal.

Het lijkt mij essentieel voor eerlijke beoefening van wetenschap, dat ouderen en jongeren in gelijke mate worstelen met de geheimen die ons omringen. Leraren dienen in hun klas uiting te geven aan dat wat ze niet weten, maar ook bereid te zijn zelf of samen met de leerlingen naar antwoorden te zoeken. Zo zijn bij ons vele zaken onderzocht met leerlingen individueel of met groepen. Zo ontstonden opgaven voor schoolonderzoeken. Vrijwel altijd waren het zaken die aansluiten bij de ervaring van alle dag.

Waarom snoert een waterstraal in? Welke is de vergelijking voor de vorm van een ei? Kan iets rollen zonder wrijving? Waarom hebben we in Nederland een munt van 25 cent en niet van 50 cent, enz.

Vorige maand vond een tweede klasser een variant op de stelling van Pythagoras die bij niemand op school bekend was.

Er gebeurt in een klaslokaal zoveel en zoveel nieuw!

Vooraf bij de jongeren is de ontdekkingsdrang en de zin om te willen weten groot. Zegt U dat het een kunst is leerlingen te motiveren? Nee, de klus is om ze gemotiveerd te houden en dat valt inderdaad niet mee.

Om de tweede klassers hierbij te helpen zijn ze allemaal geabonneerd op het tijdschrift 'De Jonge Onderzoeker'. Reeds jong worden ze op het spoor van de wetenschap gezet, want wetenschap zal steeds meer vrijetijdsbesteding gaan worden. Wetenschap als hobby!

Het exemplaar dat we hen vlak voor de herfstvakantie uitreikten bevatte tekeningen van boemerangs. Zoiets is de moeite van het maken waard en het is leuk ermee te experimenteren.

Bij zulk soort werk oefenen ze een grote stimulans op elkaar uit. Er is weinig afstand tussen spel en wetenschap. In een maatschappij die uit is op konsumptie appeleert het tijdschrift aan de creativiteit van de leerlingen.

Een moeilijk vraag in het onderwijs is: wat interesseert leerlingen ?

In het begin lijken ze zich voor alles te interesseren. Tweede klassers dringen nog om binnen te komen. 'Meneer, gaan we nog wat doen vandaag ?' vroeg er laatst één. Ik schrok van die vraag. Hij verwacht kennelijk iets van je.

Ons natuurkundeonderwijs is sterk traditioneel bepaald en geheel door mannen gekonstrueerd.

Als we die beide zaken eens zouden doorlichten, waar zouden we dan uitkomen ?

Waarom onderzoeken we wel de verschuiving in een vlakke glasplaat maar niet het verschijnsel van de regenboog ?

Waarom praten we over een puntmassa die een éénparige cirkelbeweging doorloopt en niet over een fietser die een bocht maakt ? Uit het hele land krijgen we voor het televisieprogramma 'Daar vraag je me wat' per uitzending 300 vragen binnen. Voor mij is het interessant om te zien wat mensen nu eigenlijk willen weten. Wel, over die regenboog natuurlijk; hoe komen foto's van de voyager op aarde ?; waarom kun je door glas heen kijken en door ijzer niet ?; waarom gaat de zon rood onder ?; waarom knipperen de sterren ?; waarom kun de de wind wel horen, maar niet zien ?; waarom wordt gekreukt wasgoed door strijken glad ? Van dit alles vinden we vrijwel niets in onze schoolboeken.

Staan we dan zover van de werkelijkheid af of blijven we volhouden dat wat wij behandelen zo belangrijk is en dat de rest (waar we zelf ook niets van weten) wel vanzelf komt.

Natuurkunde is niets dan een spel dat je binnen en buiten het klaslokaal kunt bedrijven. Wij waren ermee bezig op sterrenkundige werkweken en tijdens onze bergkampen van Tirol.

Je kunt er toevallig ook nog je boterham mee verdienen. Je kunt er zelfs mensen mee vormen, al moeten we het natuurkundelokaal niet gebruiken als een politieke tribune. Je kunt met natuurkunde humor bedrijven. Zelfs kan het tot meditatie stemmen.

Op de Amsterdamse effectenbeurs maakte ik een foto van allemaal mannetjes die met hun neus naar hetzelfde stuk effectenpapier gericht waren. Ze droegen zich precies als spijkertjes in een magnetisch veld.

Jarenlang heeft die foto in het lokaal gehangen met als onderschrift

<p><i>EEN MAGNEET RICHT SPIJKERTJES</i></p> <p><i>GELD RICHT MENSEN</i></p>

Zo kun je van molekulen nog wat leren. Molekulen en mensen verschillen minder dan we vaak vermoeden.

Om U dat te verduidelijken heb ik nog een experiment voor U meegebracht. Lord Kelvin demonstreerde dit voor zijn studenten om hen het schillenmodel van het atoom te verduidelijken. Zelf heb ik deze proef eens gebruikt als een dagopening. Ik zei: 'Dit is geen natuurkunde, dit is een overdenking'. Het leven is groten-deels een spel van evenwichten. Een krachtenspel, aantrekking en afstoting. Noemt een Fransman een magneet niet 'un aimant' en wat betekent dat ? Beminner of aantrekker ?

Ik heb hier een bak met water en daar kunt U het ellebogenwerk van magneten observeren.

Mijn verhaal ging over: 'Leven met Natuurkunde'.

Vroeger zeiden we tegen onze leerlingen dat ze hun land ermee van dienst konden zijn en dat ze er een stukje van hun eigen toekomst mee konden realiseren. Veel van dat alles is weggevallen. Wat is gebleven: onderzoek is een boeiende wijze van menselijk bezig zijn.

Voor de jongelui waarmee we dagelijks werken, moet natuurkunde overkomen als een spel dat de moeite waard is om mee te spelen. Het doet een beroep op hun eigen activiteiten.

Wetenschap wordt in deze tijd, waarin we steeds meer vrije tijd krijgen een vorm van ontspanning. Het bevat een uitdaging die een maatschappij van verzadiging dagelijks minder kan geven. Het voert de strijd tegen de saaiheid en houdt er de spanning een beetje in.

Sommigen noemen dat: *gelukkig leven*.

Van de week had ik een schriftelijk werkje over katrollen.
Dirk de Vree uit havo-4 ontbrak. Zijn broer gaf mij het volgende briefje:

'U heeft ons vorige week de werking van de katrol uitgelegd. Nu zijn ze bij ons in de buurt een huis aan het bouwen. Zaterdagmiddag ben ik eens gaan kijken.

Ik zag dat er een katrol aan een balk over de dakrand stal. Over de katrol was een touw geslagen. Boven hing er een mand met stenen aan en onder zat het touw aan de muur vast.

Toen maakte ik uit nieuwsgierigheid het touw los met de bedoeling de mand met stenen te laten zakken. Helaas bleek die zwaarder dan ik te zijn. Voor ik het in de gaten had, begon de mand te dalen en werd ik mee onhoog getrokken.

Ik besloot vast te houden.

Halverwege kwam ik toen de mand tegen, waarvan ik bij het passeren een harde klap tegen mijn schouder kreeg.

Ik werd verder omhoog getrokken, totdat ik met mijn hoofd tegen de balk sloeg en met mijn vingers bekneeld raakte tussen katrol en touw.

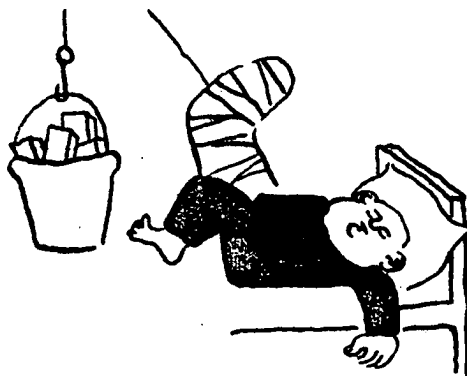
De mand sloeg inmiddels tegen de grond, hij barstte uit elkaar

en de stenen vielen eruit. Zonder mij dat natuurlijk allemaal te realiseren, bleek ik nu zwaarder dan de lege mand, waardoor ik met grote snelheid ($\frac{\Delta s}{\Delta t}$) begon te dalen. Halverwege kwam ik wederom de mand tegen waarvan ik bij het passeren een fikse klap tegen de schenen kreeg. Toen ik tenslotte weer beneden aankwam, belandde ik boven op de hoop stenen, waardoor ik nogal wat bulten en schrammen opliep. Op dat moment ben ik even buiten bewustzijn geraakt, want ik heb het touw toen losgelaten. De lege mand kwam zodoende weer naar beneden en kwam met een stevige klap op mijn hoofd terecht.

Ik lig nu in het ziekenhuis.

U begrijpt dat ik het proefwerk over de katrollen niet mee kan maken.

Volgende week zal ik wel weer op school zijn.



Dirk de Vree
(havo-4)

diskussie

n.a.v. de lezing van de heer h.m. mulder

- ??? Dit was een mannenmaatschappij. Kunt U er ook eens een vrouw inbrengen, ik bedoel een Zuidpool.
- Mulder Ja, als U verklaart wat er gebeurt.
Gelach.
Door het uitwendige veld worden zij eruit gegooid.
- Beukema Een beetje rare vraag: als U Engels had gestudeerd en U was leraar Engels geweest, hoe had U dan Engels gegeven ?
- Mulder Moeilijke vraag, ik weet het niet hoor. Ik ben een oude padvinder en als ze die bij Engels zouden kunnen gebruiken was het misschien wel gelukt. Ik zou het erg missen dat ik niet met mijn handen bezig zou kunnen zijn. Ik vind het belangrijk, en dat is mijn gevoel als mens voor mijzelf, dat je als mens totaal bezig bent. Je kunt wel allerlei dingen mooi verzinnen maar je moet ze aan je handen doorvertellen.
Ik vind het voor mijn voeten zo zielig dat die ze weinig meemaken. Ik doe allerlei leuke dingen en dan 's avonds trek je eindelijk je schoenen uit en dan zeggen ze: 'Waar zou de baas vandaag weer geweest zijn, het was een zware dag'. Ik vind dat je totaal bezig moet zijn en ik heb het idee dat ik dat bij Engels minder zou kunnen.
- Beukema U begrijpt waarschijnlijk wel wat ik bedoel. Als je in de leraarskamer dit soort dingen bespreekt dan zeggen de anderen altijd: 'Ja, jij hebt zo'n leuk vak'.
- Mulder Daar hebben ze gelijk in.
- ??? Niet zozeer een vraag als wel een opmerking. Wij kennen allemaal 'Natuurkunde van het vrije veld' van Minnaert. Zou U niet eens kunnen schrijven over dat strijken van die goederen en zo, een deeltje over natuurkunde van het dagelijks leven.
- Mulder Nou, Minnaert is niet te verbeteren natuurlijk. Minnaert heeft bijna alles geschreven. Ik ben in mijn jeugd jaren zo kapot geweest van dat boek dat ik het grotendeels heb overgeschreven in een schrift.

En telkens nog twee regeltjes op een regel, dat spaarde papier. Ik kan dat niet verbeteren, als je dat ziet dan ben ik maar een gewone knutselaar.

Er is ook zoveel op papier gezet op dit terrein. Als je echt gaat zoeken vind je allerlei proefjes terug. Je ziet ze ook telkens weer opduiken. Maar het is wel goud zoeken, je moet een hele rivier afdammen om een paar gram te vinden. Er is genoeg maar je moet een beetje spitten. Ik geloof niet dat het nodig is om een boek te maken.

wijze blijken voor te komen. En ook dat deze 'spontane' begripsvorming nogal sterk kan afwijken van de fysische begrippen zoals die zich in het wetenschappelijk begripsvormingsproces in de loop der tijden hebben ontwikkeld. Of simpel gezegd: Kinderen hebben veel verkeerde voorstellingen van natuurkundige zaken, maar gelukkig wel vaak dezelfde.

Daaruit volgt echter direct een groot belang voor de vakdidaktiek. Als dit waar is, dan is het belangrijk om deze verkeerde voorstellingen ook te kennen. Immers, dan kun je, door daar rekening mee te houden, je onderwijs waarschijnlijk niet onbelangrijk verbeteren.

Vanuit deze gedachte wordt er de laatste tijd op aanzienlijke internationale schaal, onderzoek gedaan naar de aard van deze spontane begripsontwikkeling. Of in mijn juist ingevoerde terminologie naar de aard en inhoud van het 'straatbeeld'.

In de verwachting dat kennis van dit straatbeeld de overgang naar het 'schoolbeeld', dat is de natuurkunde zoals die gewoonlijk op school onderwezen wordt, kan vergemakkelijken.

Op zich is dit onderzoek niet nieuw. In feite deed Piaget niets anders toen hij reeds in de twintiger jaren van deze eeuw kinderen interviewde omtrent zaken als: waarom waait de wind, bewegen wolken en waar komen watergolven vandaan, etc. Toch is dit onderzoek, om allerlei redenen, vrij lang onbekend gebleven. Pas met de 'herontdekking van Piaget' en zijn relevantie voor het natuurwetenschappelijk onderwijs in de zeventiger jaren is het weer naar voren gekomen.

Inmiddels had Piaget echter niet stilgezeten. Zijn onderzoek en zijn theorievorming hebben zich sindsdien vooral gericht op de ontwikkeling van het logisch denken bij kinderen en adolescenten. Dat betekent echter dat hij eigenlijk niet zozeer geïnteresseerd was in fysische begripsvorming opzich, maar meer in het ontstaan van daaronder liggende logisch-mathematische denkpatronen.

Denkstructuren die als ze gevormd zijn, geacht worden in hoge mate inhoudsonafhankelijk te kunnen functioneren. Ook in ons land heeft deze theorie van 'cognitieve ontwikkeling door adaptatie', resulterend in fasen van 'concreet en formeel operationeel denken' ruime aandacht gekregen. Toch heeft deze aandacht voor Piaget tegelijk ook de kritiek op zijn werk in hoge mate versterkt. Met name de gedachte dat Piagets theorie van logische operaties maar één kant van de medaille kan vertegenwoordigen, die op zijn minst aanvulling verdient vanuit een andere kant. Wat voor inhoudelijke problemen hebben kinderen met fysische begrippen en wat voor ontwikkeling is daarin te ontdekken? Of zoals de grijze Piaget-deskundige Professor Kenneth Lovell eens met grote nadruk tegen me zei: 'Piagets theory explains only at most fifty percent of the variance'.

En hij keek daarbij of hij zojuist een revolutionaire, wereldschokkende onthulling had gedaan. Ik knikte slechts, onnoemelijk geïmponeerd door zoveel wijsheid, in de hoop dat op mijn gezicht niet af te lezen was dat ik geen flauw benuh had van wat hij bedoelde.

Welnu, mijn verhaal zal verder gaan over onderzoek dat greep wil krijgen op één van de oorzaken van die andere 'fifty percent of the variance'.

Ik wil me daarbij beperken tot slechts twee onderzoeken op het gebied van de mechanica, en wel dat van Trowbridge en McDermott uit de U.S.A. en dat van de Francaise Viennot. Dit is slechts een keuze uit zeer veel mogelijkheden. Ik geef echter de voorkeur aan het wat dieper bespreken van weinig, boven het oppervlakkig aanstippen van veel.

Daarna wil ik een aanzet geven tot theorievorming, om te besluiten met een persoonlijk filosofietje ten aanzien van mogelijke konsekventies voor de onderwijspraktijk.

2. Onderzoek naar het begrip van het begrip snelheid

David Trowbridge en Lillian McDermott (T en M) hebben uitgaande van werk van Piaget onderzoek gedaan met betrekking tot de begrippen snelheid en versnelling.

Dit onderzoek werd opgezet vanuit de, een ieder van ons uiteraard niet onbekende, gedachte dat leerlingen wel vaak formele vaardigheid hebben met mechanica-begrippen maar toch geen echt 'begrip'. En de vraag die zij stelden was dan ook: hoe komt dat ?

Zij hebben geprobeerd hierop antwoord te krijgen met behulp van de zogenaamde 'klinische methode'. Deze aan Piaget ontleende onderzoekmethode bestaat uit het interviewen van leerlingen aan de hand van meestal ogenschijnlijk simpele taken. Het interviewen heeft dan de functie om zo goed mogelijk te achterhalen wat een leerling denkt bij het uitvoeren van de taak en waarom hij dat denkt. Het gaat dus niet noodzakelijkerwijs om het vinden van de goede oplossing.

T en M hebben gewerkt met 'simpele' taken, waarvoor geen rekenvaardigheid, of experimenteervaardigheid van de leerling was vereist. Een herhaling van interviews aan de hand van enkele Piaget-taken leverde op dat praktisch alle 'leerlingen' (het ging om 1e jaars college-studenten) weliswaar het formele Piagetaanse denkniveau hadden bereikt, maar dat de kennis van het begrip snelheid toch nog duidelijk onvoldoende aanwezig was. De meesten wisten wel dat snelheid te maken heeft met afstand en tijd maar hadden onvoldoende door dat het gaat om een verhouding van die twee.

Piaget zelf wijst met name op de vicieuze cirkel die, fysisch gesproken, bestaat tussen tijd en snelheid. Immers, snelheid wordt middels tijdsduur gedefinieerd, terwijl tijdsduur slechts middels snelheid gemeten kan worden.

Zijn observaties wezen echter uit dat er desondanks bij kinderen wel degelijk een primitieve intuïtie van het begrip snelheid ontstaat, die juist onafhankelijk blijkt van elke 'duur'. Die intuïtie komt voort uit het zogenaamde primaat van de opeenvolging, d.w.z. het gaat om de intuïtie van het kinematische inhalen. Als een bewegend object A op een moment T_1 achter is op B en op een moment T_2 voor is op B wordt het volgens Piaget, op elke leeftijd als sneller beoordeeld. Snelheid in deze zin is dus inderdaad onafhankelijk van tijdsduur.

Welnu, T en M hebben in hun onderzoek hier niet direct op voortgebouwd, maar geprobeerd veel directer aan te sluiten bij het gegeven onderwijs. Hiertoe ontwierpen ze twee 'speed comparison tasks', aan de hand waarvan ze, al demonstrerende, leerlingen interviewden.

a. Speed Comparison Task 1

In deze taak (fig.1) beweegt bal A met constante snelheid van links naar rechts,

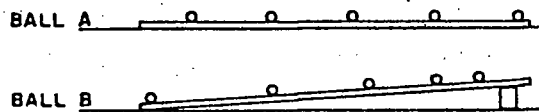


Fig. 1. Speed Comparison Task 1 (passing twice). Motion is from left to right. Successive positions are shown as they would appear in a strobe light photograph.

terwijl bal B in dezelfde richting beweegt, maar een grotere beginsnelheid krijgt dan bal A. Omdat B tegen een lichte helling op moet, gaat hij steeds langzamer om tenslotte tot stilstand te komen. Daarbij passeert bal B eerst bal A, maar even later is dit juist omgekeerd.

De leerlingen kregen eerst de bewegingen van de afzonderlijke ballen te zien en vervolgens beide verschillende keren tegelijk. Daarbij werd hun de vraag gesteld: DO THESE BALLS EVER HAVE THE SAME SPEED ?

Hierop werd bijvoorbeeld als volgt geantwoord:

'Het lijkt erop dat ze twee keer gelijke snelheid hebben'

'Hoe weet je dat ?'

'Omdat beide ballen dezelfde plaats bereikten'

De leerling wordt nu gevraagd deze plaats te markeren met een vlaggetje, waarna de demonstratie drie keer wordt herhaald.

'Wel, ze bereikten beide het vlaggetje op hetzelfde moment. Maar daarvoor ging A sneller. Erna is B sneller'.

'En hier, als ze naast elkaar zijn, wat kun je op dat moment zeggen over hun snelheden ?'

'Die zijn dan gelijk'.

Deze leerling blijkt dus te denken dat als twee voorwerpen dezelfde plaats bereiken, ze ook gelijke snelheid moeten hebben. Ook associeert hij 'voor zijn' met 'sneller zijn'.

Uit een ander 'precourse' interview komt de volgende uitspraak.

'Hier ergens (bij het eerste punt van passeren) moeten ze ongeveer even snel gaan, omdat bal B bal A passeert. Dus, terwijl B steeds sneller gaat, gaat A steeds langzamer. Er moet dus een punt zijn waar ze ongeveer even hard gaan'. Ditzelfde meisje had echter onmiddellijk hier aan voorafgaande de snelheid van bal A als 'constant' beoordeeld en die van bal B als 'steeds langzamer'. Desondanks 'neemt' ze dus direct daarna 'waar' dat B 'steeds sneller gaat', waarmee ze na enig doorvragen blijkt te bedoelen dat B bal A van achteren inhaalt. Deze plaats-snelheid verwarring bleek zelfs bij een aantal leerlingen de daaropvolgende instructie periode te 'overleven'.

Welnu, wat is hier aan de hand ? Je zou kunnen zeggen dat het deze leerlingen ontbreekt aan een goede procedure om vast te stellen wanneer twee voorwerpen dezelfde instantane snelheid hebben.

Als wij, deskundigen !, dit probleem nieuw krijgen voorgeschoteld, 'ontstijgen' wij als het ware eerst de directe probleemsituatie. Door daarop te reflecteren zoeken we een procedure, een criterium, dat een antwoord moet geven op de gestelde vraag. Bijvoorbeeld: twee voorwerpen hebben dezelfde snelheid als hun onderlinge afstand gelijk blijft, en daar moeten we dus op letten. Of we bedenken een logische redenering als: B gaat eerst sneller als A, maar wordt vertraagd tot stilstand, dus moet er wel een moment zijn waarop B dezelfde snelheid heeft als A.

In dit geschetste deskundigengedrag zitten twee belangrijke elementen, hoewel we ons dat vaak niet meer realiseren. Dat is ten eerste de vaardigheid tot bewuste reflectie op het probleem en het daaraan verbonden 'ontstijgen' uit het direct waargenomene. En ten tweede onze uiteraard veel flexibeler kennis omtrent het formele fysische begrip snelheid.

Als beide elementen ontbreken, zoals dat bij de geciteerde leerlingen waarschijnlijk het geval was, dan blijft de leerling gebonden aan datgene wat direct wordt waargenomen en koppelt dit automatisch aan eerder ontstane, veelal vage en intuïtieve ideeën die horen bij hetzelfde woord waarmee het fysische begrip in de vraagstelling wordt aangeduid. Je zou het misschien een soort 'regressief gedrag' kunnen noemen, het terugvallen op een vroeger ontwikkelingsstadium. Dit maakt enigszins begrijpelijk dat leerlingen 'fouten' maken als: 'voor zijn' associëren met 'sneller zijn'; 'van achteren inhalen' betekent 'versnellen'; 'zelfde plaats bereiken' betekent 'gelijke snelheid' en een directe gebondenheid aan de 'Gestalt' van het passeren.

b. Speed Comparison task 2

Dit laatste werd met name nog eens onderzocht met behulp van een tweede taak.

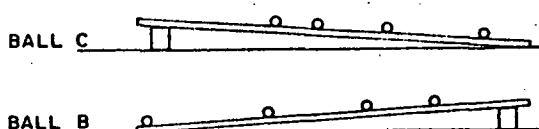


Fig. 2. Speed Comparison Task 2 (no passing). Motion is from left to right. Successive positions are shown as they would appear in a strobe light photograph.

In deze taak had bal B dezelfde beweging als in taak 1, maar in plaats van bal A was er nu bal C. Deze begint vanuit rust vanaf een punt voor B; C versnelt éénparig en blijft B steeds voor. Er is nu dus geen moment van passeren. Op de vraag of beide ballen ooit dezelfde snelheid hebben, treffen we nu dan ook bijvoorbeeld de volgende antwoorden aan.

'Nee, omdat ze nooit op één lijn kwamen'

'Nee, ze kwamen niet naast elkaar, zodat ze gelijke snelheid zouden hebben. Bal C ging steeds maar door en bal B bleef steeds achter'.

Met name valt opnieuw op dat logische argumenten niet noodzakelijkerwijs de gedachtengang beïnvloeden. Zo waren er leerlingen die, nadat ze eerst beschreven hadden dat de snelheid van B afnam tot nul en die van C toenam vanaf nul, na waarneming van de demonstratie met beide ballen tegelijk, vervolgens zeiden dat beide ballen nooit dezelfde snelheid hadden omdat ze elkaar niet passeerden, zonder kennelijk last te hebben van de logische inconsistentie in hun redeneringen.

c. Enkele resultaten kort samengevat

T en M hebben met de hier beschreven taken, aangevuld met schriftelijke tests, zo'n tweehonderd eerste-jaars college-"leerlingen" geïnterviewd. Een gigantische hoeveelheid werk dus, te meer daar dit zowel voor als na het gegeven onderwijs in de mechanica is gedaan. Het betrof trouwens verschillende groepen leerlingen die ook op verschillende manieren onderwijs kregen. Daarop wil ik hier nu niet verder ingaan. In de 'precourse-interviews' bleek 60-30% van de leerlingen, afhankelijk van de groep waartoe ze behoorden, problemen te hebben met 'speed comparison task 1.' Praktisch altijd betrof het dan de beschreven 'plaats-snelheid verwarring.' Na instructie bleek dit nog het geval te zijn bij 36-10 %, opnieuw afhankelijk van de groep. Hoopgevend was wel dat in de groep die het meest intentieve onderwijs had genoten, dat met name gericht was op begripsverheldering, inderdaad ook een grote verbetering in begripsvorming bleek op te treden. Opvallend was ook dat veel van de leerlingen die nog steeds problemen hadden met taak 1, nu wel in staat bleken een acceptabele definitie te geven van het begrip snelheid.

In een vervolg-onderzoek naar het begrip versnelling bleken de resultaten niet veel beter. Eerder het tegendeel. Op de vraag of, in een soortgelijke taak, twee ballen ooit dezelfde versnelling hadden, bleken de antwoorden nu gerangschikt te kunnen worden in tien verschillende categorieën, waarvan er overigens slechts twee tot een juiste oplossing leidden. Als criterium voor het al of niet hebben van een gelijke versnelling werd bijvoorbeeld genoemd: "ja, want ze waren op dezelfde plaats", "Ja, want ze kregen dezelfde eindsnelheid"; "Nee, want A heeft een grotere versnelling omdat hij B inhaalt"; "Nee, want A heeft een grotere versnelling omdat hij in dezelfde tijd een grotere afstand aflegt", etc.

Kortom een rijk scala van antwoorden, waaruit steeds blijkt dat de begrippen plaats, snelheid, gemiddelde snelheid, en versnelling niet scherp van elkaar worden onderscheiden en daarom in de antwoorden door elkaar heen lopen. Opnieuw bleek dat hoewel de meeste leerlingen achteraf in staat waren het begrip versnelling op een bevredigende manier te definiëren, ze deze definitie niet konden gebruiken als criterium voor het vergelijken van de versnellingen van twee reële bewegende voorwerpen. En opnieuw luidt de vraag: hoe komt dat? Is het vanwege een gebrek aan training in probleemoplossend gedrag, waardoor de noodzakelijke fase van reflectie op de probleemsituatie en op de kennis die je hebt, ten onrechte praktisch wordt overgeslagen? En wat is de rol hierin van de intuïtieve "straat-ideeën" die de leerling al had ten aanzien van de

onderhavige mechanica-begrippen? Is het bijvoorbeeld niet zo dat in ons dagelijks leven, in de auto of op de fiets, een grotere versnelling inderdaad veeleer betekent een grotere snelheid, en een zelfde snelheid overeenkomt met een zelfde versnelling? Zou het zo kunnen zijn dat bepaalde kenmerken van de probleemsituatie, juist de noodzakelijke reflectie tegenwerken, omdat ze associatief uitnodigen tot regressie? Maar welke kenmerken zijn dat dan, en voor welk type problemen geldt dat het meest?

Een ander onderzoek geeft daarover althans enige informatie. Laten we daarvan ook een stukje gaan bekijken.

3. Onderzoek naar het begrip van $\vec{F} = m\vec{a}$

a. Kracht en snelheid

De Française Laurence Viennot heeft een interessant onderzoek gedaan naar wat zij noemt het "spontane redeneren" in de elementaire dynamica. Voor haar onderzoek gebruikte zij "papier-en-potlood" testen, die ten dele zijn aangevuld met interviews van leerlingen. Het ging er om de voorspellingen van leerlingen te onderzoeken ten aanzien van specifieke aspecten van de beweging van voorwerpen, onder eliminatie van zoveel mogelijk afleidende moeilijkheden, met name wat betreft wiskundige zaken.

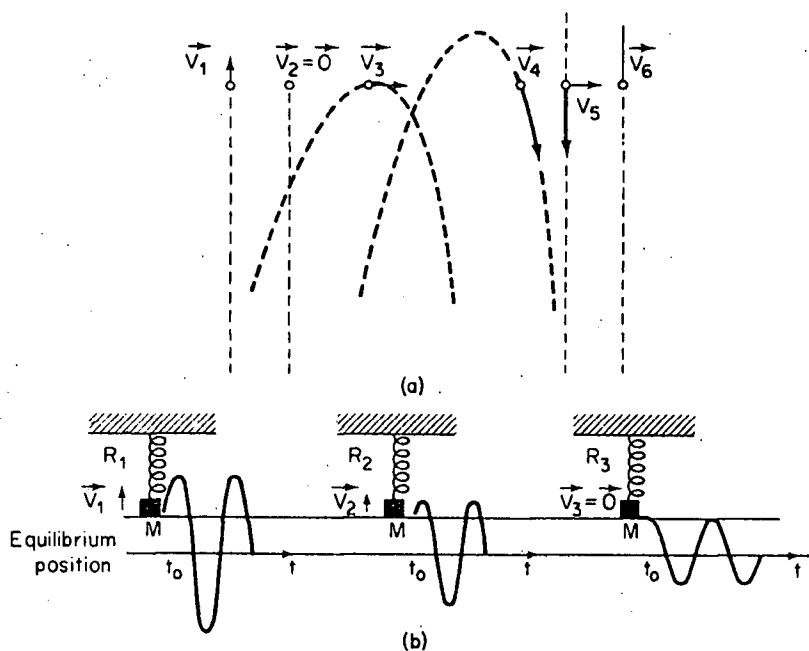


Figure 3. Two series of systems having identical positions but different motions

Fig. 3 laat een deel van haar vraagstelling zien.

Enkele simpele systemen zijn getekend met hun beweging 'bevroren' op één bepaald moment. Alle lichamen hebben dezelfde positie, maar verschillende snelheden en bewegingsrichtingen, zoals getekend. In het ene geval gaat het om een set ballen van een jongleur, die allemaal op dezelfde hoogte zijn "gevangen". In een andere, schijnbaar verschillende, maar in feite essentieel gelijke versie, gaat het om een systeem van drie massas die oscilleren aan het eind een vertikaal opgehangen veren. De vraag die gesteld werd was of de krachten die op de ballen (of massas) werken, op het getekende moment, gelijk zijn of niet, (luchtweerstand werd verwaarloosd). Met een toelichting op hun antwoord. In het geval van de veren stond in de tekst zelfs expliciet vermeld dat de veerkracht evenredig is met de uitrekking van de veer. Vanuit formeel mechanica standpunt gezien is de vraagstelling dus eigenlijk zo simpel datje hem nauwelijks zou durven voorleggen. Welnu, hoe zit het met de resultaten? Figuur 4 laat ze zien.

TABLEAU 4: Réponses à propos des situations A et B

Nombre d'élèves	SITUATION	RÉFÉRENCE	Année d'enseignement	Les forces sont...		
				=	≠	? ou pas de réponse
29	A	1	dernière (secondaire)	39 %	55 %	6 %
36		2	première (université)	58 %	42 %	0 %
226		3	première (univ. Belg.)*	44 %	54 %	2 %
20	B	4	première (université)	70 %	30 %	0 %
49		5	troisième (université)	37 %	55 %	8 %
95		6	deuxième (université)	48 %	40 %	12 %
14		7	dernière second. (G.-B.)**	64 %	36 %	0 %
14		8	première (univ. G.B.) **	57 %	43 %	0 %
226		9	première (univ. Belg.) *	37 %	49 %	14 %

Résultats aimablement communiqués par :

* Professeur J. Deltour (Gemboux).

** Professeur L.R.B. Elton (Guilford).

Wat direkt opvalt is het verbazend grote aantal foute antwoorden, op deze ogenschijnlijk toch zo simpele vraagstelling. Hoe komt het toch dat zelfs 55% van derde-jaars natuurkunde studenten (!) de vraag met de veren fout beantwoorden? Het kan dan toch onmogelijk nog een kwestie van "niet snappen" zijn? Interessant is de verdere analyse die Viennot op de antwoorden heeft uitgevoerd. Opnieuw blijkt dat de "foute" antwoorden niet een volstrekt ongeordende verzameling zijn. Nee, integendeel, in deze "foute" antwoorden zijn hele duidelijke patronen te herkennen, die bovendien nog internationaal blijken te zijn. Het gaat dus kennelijk om een consistent patroon van fysische "misvattingen", en de vraag wordt dan: hoe ziet dat patroon eruit? Enkele voorbeelden van antwoorden laten al zien in welke richting we moeten denken.

"De krachten zijn verschillend, omdat de snelheden verschillend zijn"
(3^e jaars universiteit)

"Het gewicht werkt op elk van de ballen op een ongelijke manier. De versnelling varieert dus net zo als de verschillende bewegingen"
(1e jaars universiteit)

"De kracht die op elk van de ballen werkt is $F = ma$. De ballen zijn hetzelfde dus moet a variëren. Voor v_1 is a positief, de bal stijgt door. Voor v_2 is a nul, de bal zal dus gaan dalen. Voor v_3 is a konstant. Voor v_4 en v_5 is a negatief en voor v_6 is a positief."
(laatste schooljaar).

Het lijkt er dus op dat in de gegeven vraagstelling de kracht gerelateerd wordt aan de getekende snelheden, in plaats van aan de niet-getekende versnellingen. Een soort kracht-snelheid relatie dus die in de gegeven situatie de aangeleerde kracht-versnelling relatie overschaduwet. Deze kracht-snelheid relatie blijkt bij nadere analyse, kort samengevat de volgende kenmerken te hebben

$$\vec{F} = \alpha (\vec{v}), \text{ met:}$$

1) Als $\vec{v} \neq 0$ dan is ook $\vec{F} \neq 0$

Dit geldt zelfs als $\vec{a} = 0$, waarbij \vec{F} evenredig en gelijkgericht aan \vec{v} wordt gedacht.

2) Als $\vec{v} = 0$, dan is ook $\vec{F} = 0$, zelfs als $\vec{a} \neq 0$.

3) Als $\vec{v}_1 \neq \vec{v}_2$ dan is ook $\vec{F}_1 \neq \vec{F}_2$, zelfs als $\vec{a}_1 = \vec{a}_2$.

Kortom het denkpatroon: "kracht als een of andere functie van de snelheid" blijkt zijn eigen "wetmatigheden" te hebben. En, interessant genoeg "wetmatigheden" die precies aansluiten bij datgene wat leerlingen gewoonlijk in hun leefwereld kunnen ervaren met betrekking tot kracht en snelheid. Is het immers niet zo dat sneller fietsen nog steeds een grotere kracht vereist dan langzaam fietsen, om maar eens een triviaal voorbeeld te noemen? Maar hebben al deze fout-antwoordende leerlingen en studenten dan helemaal niets opgestoken van de vele lesuren mechanica, die ze toch gehad hebben? Jazeker wel, zoals uit het volgende moge blijken.

Op de vraag of de potentiële energieën, E_p , van de ballen en massa's (fig. 3) gelijk of verschillend zijn, antwoordden praktisch alle groepen voor meer dan 80% korrekt. Hierbij werd vaak gebruik gemaakt van de formules $E_p = mg h$ en $E_p = \frac{1}{2} kx^2$. Verrassend is echter dat zo'n 20% van de korrekte antwoorden (bij eerste-jaars studenten) op de E_p -vraag blijkt te kunnen samengaan met foute antwoorden op de F-vraag. Karakteristiek hiervoor is bijvoorbeeld de student die zegt dat de krachten verschillend zijn, omdat "-kx voor de veren verschillend is", terwijl hij even later zegt dat de E_p 's gelijk zijn, want ' $\frac{1}{2} kx^2$ is hetzelfde voor de drie systemen.' Voorwaar, een op het eerste gezicht nogal schrijnend aandoende logische inkonsistentie.

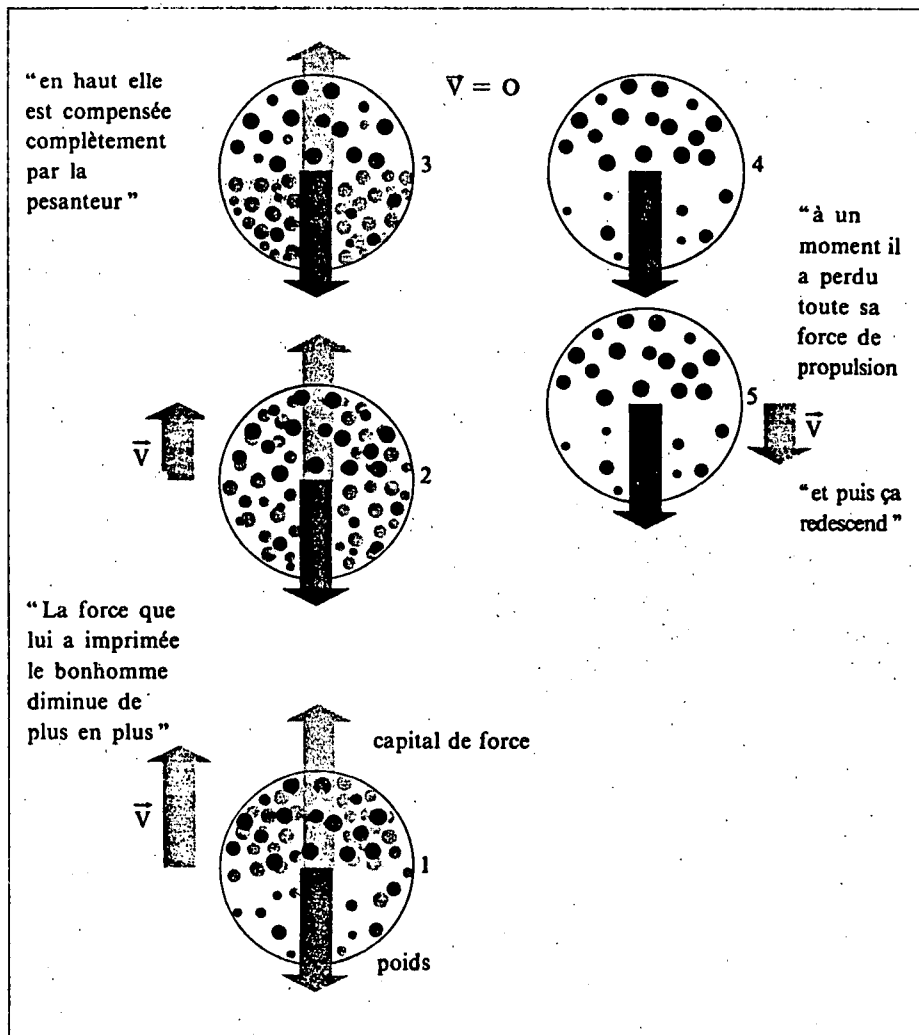
Belangrijke invloed bleek ook uit te gaan van de vorm van de vraagstelling. Wanneer bijvoorbeeld de vraagstelling werd omgedraaid: "Hebben twee ballen die onderworpen zijn aan dezelfde krachten, noodzakelijkerwijs ook dezelfde beweging?", dan waren in de antwoorden geen sporen van een $\vec{F} = \alpha(\vec{v})$ relatie aan te wijzen, maar werd wel degelijk gebruik gemaakt van het eerder geleerde $\vec{F} = m\vec{a}$. Hetzelfde deed zich voor wanneer de beweging bijvoorbeeld in de vorm van baanvergelijkingen was gegeven. Dan werd op de vraag naar de kracht de versnelling uitgerekend en niet de snelheid. Dat brengt ons dan tot de vraag welk belangrijk "kenmerk van de probleemsituatie", zoals ik dit eerder noemde, in de oorspronkelijke vraagstelling verantwoordelijk is voor de interferentie van de foute $\vec{F} = \alpha(\vec{v})$ relatie. Welnu, de oorzaak lijkt opnieuw te liggen in de overheersing van de direkte waarneming. Met name de getekende snelheden en bewegingen roepen de verkeerde reacties op. En weest U eens eerlijk, was U ook niet even geneigd te denken aan "hoe heftiger trilling hoe groter kracht"? Opnieuw lijkt het een kwestie dat de "Gestalt" van de probleemsituatie uitnodigt, of beter: welhaast dwingt, tot direkt reageren in plaats van tot reflectie.

Opvallend blijft dan echter toch nog dat dit directe spontane reageren zo'n consistent patroon oplevert. Een gevolg van spontane regressie naar de beelden uit de leefwereld ?'

b. De verticale worp; een nadere analyse

Op grond van het voorgaande zou het beeld kunnen zijn ontstaan dat het natuurkundig denken van leerlingen óf bepaald wordt door hun intuïtieve straatbeeld óf hun formele schoolbeeld en dat de specifieke vraagstelling bepaalt welk van de twee wordt 'opgeroepen'. Hier lijkt een kern van waarheid in te zitten, maar de werkelijkheid is toch gecompliceerder. In ieder geval voor de leerlingen en studenten die door Viennot onderzocht zijn ten aanzien van hun krachtbegrip. Nadere analyse levert namelijk op dat beide krachtbegrippen ($\vec{F} = \alpha(\vec{v})$ en $\vec{F} = m\vec{a}$), ook in één en dezelfde probleemstelling tezamen kunnen optreden. Een voorbeeld daarvan wordt gevormd door de verticale worp.

Figure 6 Mouvement d'une balle lancée verticalement



a) Analyse dynamique intuitive

De krachtbegrippen die door elkaar heen gehanteerd worden zijn wat genoemd wordt de 'kracht op de massa', \vec{F}_{ex} , en de 'kracht van de massa', F_c . \vec{F}_{ex} stelt de werkelijke interactie-kracht voor die door externe oorzaken op de massa wordt uitgeoefend. Hiervoor wordt dan ook de betrekking $\vec{F}_{ex} = m\vec{a}$ gebruikt. Deze kracht blijkt echter alleen voldoende te zijn, in het denken van veel leerlingen, als de beweging dezelfde richting heeft als deze externe kracht, of als de beweging niet expliciet gegeven is. In andere gevallen ontleent de massa, in het denken van deze leerlingen, een zekere kracht aan het feit dat ze in beweging is.

Het is een soort 'voorraad' aan kracht (capital de force) die de massa zelf bezit. En wel des te meer naarmate de snelheid van de massa groter is. Deze F_c treedt naar voren als de beweging zich als een directe gegevenheid manifesteert (zoals eerder beschreven) en wel des te nadrukkelijker naarmate deze manifeste beweging meer onverenigbaar lijkt met de aanwezige externe krachtwerking F_{ex} . En het is juist deze 'voorraad-kracht', F_c , die beschreven lijkt te kunnen worden met de eerder genoemde wetmatigheden volgens $\vec{F}_c = \alpha(\vec{v})$. Echter, in voorkomende gevallen worden beide krachten niet als los van elkaar gezien. Bijvoorbeeld in het geval van de verticale worp weet de leerling dat hierop de zwaartekracht werkt. Dat heeft hij in ieder geval op school geleerd en het is ook voldoende om de afloop van de verticale worp, de vrije val, te begrijpen. Immers, dan is de externe kracht in dezelfde richting als de beweging. Problematischer ligt het bij het omhoog gaan. Dan is de beweging niet compatibel met de externe kracht en daaruit resulteert het intuïtieve idee dat er nog 'iets' nodig is.

De massa zelf heeft 'kracht nodig' om omhoog te kunnen komen. Een 'voorraad van kracht' die in staat is het te winnen van de tegenwerkende zwaartekracht en die des te groter is naarmate de snelheid omhoog groter is. Een 'voorraad' die juist 'verbruikt' wordt door die tegenwerking en als gevolg waarvan de snelheid steeds kleiner wordt. Dit gaat door totdat de kracht omhoog precies gecompenseerd wordt door de kracht omlaag.

In formule wordt dit:

$$\vec{F}_{ex} = \Delta\vec{F}_c = \alpha(\Delta\vec{v})$$

Het belangrijke in deze gedachtengang is dat op deze manier F_{ex} wel degelijk gekoppeld wordt aan de snelheidsverandering van de massa, al heeft dit dan niet veel te maken met het normale versnellingsbegrip.

Toch zou dit er wel eens mede de oorzaak van kunnen zijn dat dit denkpatroon zo veelvuldig blijkt voor te komen en zo hardnekkig het onderwijs trotseert. Het is een 'succesvolle synthese' van schoolmechanica en intuïtieve mechanica, waarbij als interessante voetnoot vermeldenswaard is dat het zeer veel overeenkomst vertoont met de middeleeuwse voor-Newtonse mechanica, die bekend staat als de impetus-theorie.

4. Aanzet tot theorievorming

De beschreven onderzoeken zijn nog met vele gelijksoortige voorbeelden uit te breiden. Ongetwijfeld zult U er zelf Uw eigen ervaringen in herkennen en er andere aan toe kunnen voegen. Maar daarmee komt tevens de vraag naar de zin van dit soort onderzoek naar voren. Is het meer dan een verzameling anecdotes, hoe aardig en aansprekend die op zichzelf ook mogen zijn? Welnu, de uiteindelijke zin zal, voor mijn gevoel, sterk afhangen van de vraag in hoeverre het mogelijk zal blijken tot een goede theorie-vorming te komen. Een theorie die werkelijk enige hulp kan bieden bij het begrijpen en inrichten van natuurkundige leerprocessen. Laten we proberen daarmee een begin te maken.

Mentale structuren

Hoe leren wij eigenlijk? Hoe verwerven wij kennis? Hoe ontwikkelen wij ons 'intellektuele' gedrag? Op deze vragen is nog geen éénstemmig antwoord bekend en voorlopig zal dat er ook nog wel niet komen. Laten we daarom de gevoelige plekken in deze discussie maar niet bespreken en ons hoofdzakelijk bepalen tot de zienswijze van Piaget. Een ruwe schets daarvan gaat als volgt.

Menselijke kennis en intelligent gedrag ontstaat en groeit door een voortdurende wisselwerking tussen een individu en zijn omgeving, dat zich daardoor steeds aan die omgeving aanpast. Alle ervaringen die vanuit de buitenwereld op ons af komen, en waar wij op reageren, worden op de een of andere manier, bewust of niet bewust, gestructureerd en 'opgeslagen' in ons brein.

Bij deze ervaringen gaat het niet alleen om puur intellectuele, maar ook om emotionele en motorische aspecten. De gehypothetiseerde gestructureerde representaties van al deze ervaringen in ons brein, duiden psychologen aan met de term 'mentale structuur', waarbij juist de vorm en aard van deze 'mentale structuur' onderwerp is van veel onderzoek en discussie.

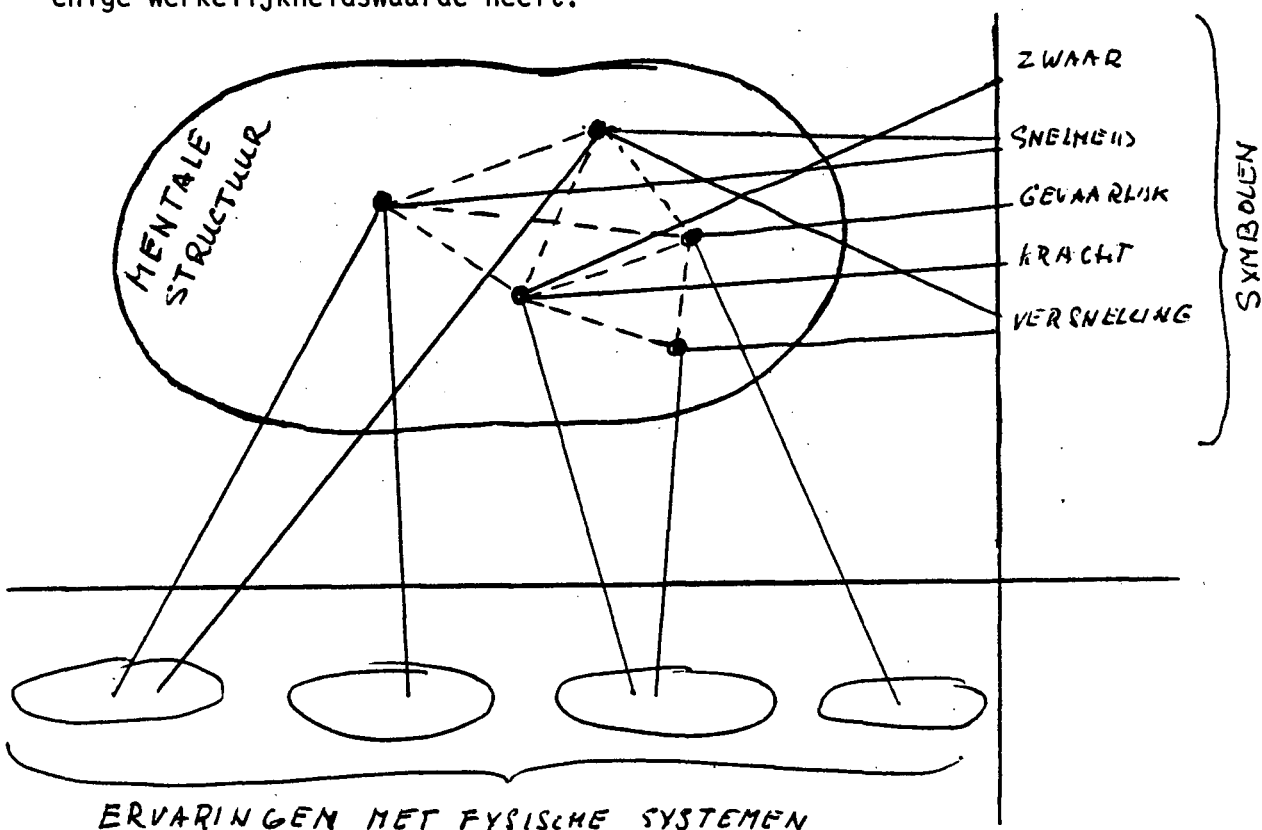
In Piaget's theorie is het belangrijk dat hij dit opnemen van nieuwe ervaringen niet ziet als een passief proces, maar als een aktieve daad van verwerking. Kennisverwerving is dus niet als het fotograferen van een voorwerp, maar veel meer als het schilderen daarvan. "Hoe en wat geschilderd" wordt, is daarbij niet alleen afhankelijk van de nieuwe ervaring zelf, meer net zozeer van de schilder, d.w.z. van de reeds aanwezige structuur.

Immers, het nieuwe wordt altijd door de al aanwezige structuur 'gefilterd' waargenomen en verwerkt. Als de nieuwe ervaring 'past' in de aanwezige structuur wordt ze daarin opgenomen. Als ze niet past geeft dit aanleiding tot wijziging van de bestaande structuur, net zo lang tot de diskrepantie tussen de nieuwe ervaring en de mentale structuur is opgeheven. Hoe dit gebeurt is nog helemaal

open, het kan bijvoorbeeld net zo goed gebeuren via processen van afwijzen of ontkennen, als via actieve herstrukturierende inpassing. Zo probeert elk individu door voortdurende adaptatie, op een actieve en unieke manier zingend om te gaan met zijn eigen ervaringswereld. Wat betekent dat nu voor de natuurkundige begripsvorming?

Mentale natuurkunde structuren

Zo heeft iedereen ook voortdurend 'natuurkundige ervaringen'. Die ervaringen kunnen vooral materiëel zijn, dus met 'dingen'; vooral symbolisch, dus met geschreven of gesproken woorden; of vooral mentaal, dan wel combinaties van deze drie mogelijkheden. Op grond van al deze actieve ervaringen ontwikkelt zich, als deelstructuur van ieders totale mentale structuur, in ieder individu ook een 'mentale natuurkunde structuur'. Dit is de verzameling ideeën, emoties, handelingsbekwaamheden en strategieën, die ieder, al of niet zeer bewust, heeft ten aanzien van wat door deskundigen natuurkundige begrippen en verschijnselen wordt genoemd. Een individuele structuur dus, die op elk moment moet passen bij het totaal aan 'natuurkundige ervaringen' dat ieder gehad heeft, en die voortdurend beïnvloed wordt door nieuwe ervaringen. Elke nieuwe ervaring kan alleen 'begrepen' worden vanuit de al aanwezige structuur, en heeft daarvoor weer onvermijdelijke gevolgen. Fig. 6 wil dat verduidelijken. Daarin is zeer schematisch en hypothetisch een klein stukje van zo'n complexe natuurkunde-structuur weergegeven. Althans, van hoe je je die zou kunnen voorstellen, want niemand weet uiteraard vooralsnog of dit beeld enige werkelijkheidswaarde heeft.



Elk 'idee' in de structuur is via ervaringen met fysische systemen 'geworteld' in de concrete ervaringswereld en via 'vertakkingen' verbonden met de symbolische ervaringswereld van de taal (en formules). Elke nieuwe ervaring geeft een nieuwe tak en/of wortel of 'verdikt' een reeds bestaande.

Het 'beeld' dat je als individu hebt van een bepaald begrip wordt dus bepaald door twee aspecten. Enerzijds door het aantal en de aard van de verbindingen met andere begrippen binnen de mentale structuur. En anderzijds door het aantal en de aard van de 'takken' en de 'wortels' waarmee ieder begrip aan de buitenwereld 'vastzit'.

Belangrijk is het daarbij ons opnieuw te realiseren dat begripsvorming niet éénduidig met de buitenwereld verbonden is, vanwege het actieve konstruerend proces dat er mede aan ten grondslag ligt. De fysicus en filosoof Margenau spreekt dan ook over 'constructs' als hij het heeft over fysische begrippen.

Het zojuist geschetste beeld heeft een aantal interessante konsekwenties. Bijvoorbeeld dat objektieve kennis niet of nauwelijks mogelijk is. Iedereen bekijkt en begrijpt de werkelijkheid vanuit zijn eigen unieke structuur. Zelfs al gebruiken twee individuen hetzelfde woord voor 'hetzelfde begrip', bijvoorbeeld de leraar en de leerling in de natuurkundeles, dan nog heeft dit begrip voor beiden onontkoombaar een verschillende inhoud. Sterker nog, beiden praten in feite over twee 'verschillende begrippen'.

Of is dat nu net wat we gewend zijn 'verschil in inzicht' te noemen?

Gewoonlijk praten we over 'kennis van', 'toepassing van' en 'inzicht in' een bepaald begrip. Deze terminologie suggereert echter een denken over begripsvorming in stationaire termen. Dit in tegenstelling tot het geschetste interaktionistische beeld, dat essentieel een dynamisch proces weerspiegelt.

Kennis van een begrip is nooit 'af'. Elke nieuwe ervaring met een begrip, bijvoorbeeld een poging toe 'toepassing', wijzigt ook de 'kennis' van dat begrip en 'verdiept daarmee het inzicht'. Individueel gezien is het daarna een ander begrip geworden, omdat de verbindingen in de mentale structuur anders zijn geworden. Ook inzicht is dus iets wat nooit bereikt wordt, maar voortdurend aan verandering onderhevig is.

Zo vormt ieder individu zich zijn eigen unieke veelal intuïtieve natuurkunde structuur, als onlosmakelijk onderdeel van een groter geheel. Bepalend voor de vorming en vorm van deze deelstructuur lijkt het criterium dat deze je de mogelijkheid moet bieden om je eigen leefwereld leefwereld op een voor jezelf konsistente en zinvolle manier te ervaren. En nietsgegarandeert dat op grond

van dit criterium een structuur zal ontstaan die grote overeenkomst vertoont met het formele bouwwerk der natuurkunde. Sterker nog, het lijkt volstrekt voor de hand liggend dat dit niet zal gebeuren.

Dit bouwwerk is immers het resultaat van eeuwenlang systematisch wetenschappelijk onderzoek en soms ver verwijderd van wat 'iedereen toch direkt op zijn klompen aanvoelt'. Laten we daarom precieser naar deze twee verschillende natuurkunde-beelden gaan kijken.

Schoolbeeld en Straatbeeld

Als we op grond van het voorgaande accepteren dat bij ieder mens een meer of minder intuïtief beeld ontstaat ten aanzien van natuurkundige zaken, het eerder genoemde 'straatbeeld', dan gaat het er nu om te bekijken in hoeverre dit al of niet afwijkt van het 'goede' natuurkunde-beeld, zoals dat op school onderwezen wordt; het 'schoolbeeld' dus. We gaan er daarbij vanuit dat we te maken hebben met formeel denkende leerlingen, zodat eventuele verschillen niet te wijten kunnen zijn aan het niet kunnen beschikken over de noodzakelijke logische operaties. Ook gaat het hier niet om preciese inhoudelijke verschillen ten aanzien van fysische begrippen, maar meer om algehele kwalitatieve verschillen van beide denkwereelden als geheel. Onderstaande tabel geeft hiervan een voorlopige samenvatting.

KENMERKEN

<u>Straatbeeld</u>	<u>Schoolbeeld</u>
1. evolutionair	revolutionair
2. sterk 'geworteld' en 'vertakt'	zwak 'geworteld' en 'vertakt'
3. vage begrippen en onduidelijke relaties	scherpe begrippen en preciese relaties
4. geen logische consistentie	logische consistent
5. individuele, situationele kennis	publieke, gegeneraliseerde kennis
6. momentane zingeving van de direkte ervaringen	blijvende 'waarheid' omtrent geïdealiseerde werkelijkheid
7. intuïtief interpretatie-kader	reflektief interpretatie-kader.

Toelichting 'straatbeeld'

Het straatbeeld, zoals dat in principe in ieders mentale structuur op meer of minder uitgebreide wijze vorm krijgt, is op Piageteaanse wijze duidelijk evolutionair van karakter. Het ontwikkelt zich, langzaamaan, bij stukjes en beetjes, tot wat het op een gegeven moment is. (Let wel dat we het hier hebben over een hypothetische structuur. Juist omdat de realiteit hiervan niet duidelijk is, beperkt Viennot zich tot het spreken over 'spontaan redeneren'.) Daaraan kunnen talloos veel ervaringen ten grondslag liggen, hetgeen wordt bedoeld met 'sterk geworteld en vertakt'. Het is een, wat je zou kunnen noemen, geleidelijk aan sterk ingeslepen structuur. Omdat er, zoals eerder gesteld, geen grondige rationele reflectie aan ten grondslag ligt, maar het veel meer gaat om een resultaat van intuïtieve zingevingen aan directe ervaringen zal het 'straatbeeld' hoofdzakelijk bestaan uit vage begrippen met vage onderlinge relaties. Of zelfs nauwelijks een echte structuur vormen, maar veeleer een verzameling van losse beelden. Het zal zich voornamelijk beperken tot de direct waarneembare werkelijkheid en intern niet logisch-konsistent zijn opgebouwd. Inkonsistenties blijven immers veelal onopgemerkt omdat de kennis ook sterk situationeel bepaald blijft (episodisch). Desalniettemin vormt het straatbeeld wel degelijk een zinvol interpretatie-kader van waaruit de wereld wordt waargenomen en geïnterpreteerd. Het fungeert als een intuïtief fysische bril waardoor je naar de wereld kijkt. En waarmee je dus ook de school natuurkunde zult waarnemen en 'begrijpen'.

Toelichting 'schoolbeeld'

Met schoolbeeld bedoelen we de natuurkunde zoals die op school onderwezen wordt en waarvan we zo graag willen dat de leerlingen die in hun hoofd zouden krijgen. Een beeld dus dat dient te ontstaan op grond van relatief weinig ervaringen, die bovendien nog bijna allemaal binnen het schoolse natuurkundelokaal plaatsvinden. Of, anders gezegd, een beeld dat slechts zwak geworteld en vertakt is in een zeer beperkt deel van de ervaringswereld van de leerling, waardoor het gevaar groot is dat het een relatief losstaande substructuur vormt. Dit schoolbeeld nu, wil een afspiegeling zijn van de wetenschappelijke natuurkunde. Nu heeft de geschiedenis van de natuurkunde talloze malen laten zien dat de huidige natuurkundige theorieën niet het resultaat zijn van voor-de-hand-liggende, éénduidige en rechtstreekse 'extrapolaties' uit de direct waarneembare verschijnselen. Integendeel, veeleer liggen aan de huidige theorieën volledige heroriëntaties en herinterpretaties van diezelfde verschijnselen ten grondslag,

zodat in die zin gesproken kan worden van 'revolutionaire theorievorming'. Het gaat ook steeds om een grondige rationele reflectie op de werkelijkheid. Zo is een kennisbestand ontstaan dat, behalve sterk kwantitatief van aard, ook streng logisch consistent is opgebouwd uit zo scherp mogelijk gedefinieerde begrippen en relaties. Bovendien wordt alleen kennis geaccepteerd die een publiek, objectief karakter heeft en derhalve sterk gegeneraliseerd is. Het gaat immers om het vinden van de 'ware kennis' omtrent de natuur, waartoe diezelfde natuur eerst ontdaan wordt van alle individuele eigenaardigheden en gemodelleerd tot een beter hanteerbare 'ideale' werkelijkheid. Zo biedt de school-natuurkunde ook een interpretatie-kader voor de wereld om ons heen, maar het is wel een kader dat ter hantering, naast goed wendbare kennis, expliciete reflectie op die wereld vooropstelt.

Paradigma-switch

Concluderende zou ik willen stellen dat er een aanzienlijk verschil bestaat tussen beide beelden. Het gaat niet alleen om andere kennis, maar om veel meer. Het gaat in feite om twee verschillende denkwelden, waartussen de overgang niet een vanzelfsprekend gebeuren is. Ik zou hiervoor de term 'paradigma-switch' willen gebruiken, ter aanduiding van het onderliggende psychologische proces. Een proces dat wel eens zeer veel moeilijker zou kunnen zijn, dan we graag zouden willen geloven.

Het is een beetje als het vervangen van iets ouds en vertrouwds door iets nieuws en onbekends. Ook dat gaat vaak met veel pijn en moeite gepaard. Is dat in wezen niet hetzelfde wat Max Planck bedoelde toen hij zei dat belangrijke nieuwe ideeën in de natuurkunde uiteindelijk alleen geaccepteerd worden doordat de tegenstanders geleidelijk uitsterven? En heeft Kuhn deze moeilijke paradigma-wisseling niet als, vooral psychologische grondslag genomen voor zijn theorie van wetenschappelijke revoluties?

Welnu, is de beeldwisseling die leerlingen moeten doormaken op school in essentie niet analoog aan zo'n 'wetenschappelijke revolutie'? En dan nog wel een groot aantal voortdurend achter elkaar?

Een langzaam proces

Tot nu toe heb ik gepraat over straatbeeld en schoolbeeld alsof het om welgedefinieerde, constante en goed bekende beelden zou gaan. En alsof iedere leerling altijd òf het ene òf het andere zou bezitten. Maar zo eenvoudig is het natuurlijk niet. Wat ik heb geprobeerd is een soort ideaal typische beschrijving te geven, van wat je misschien zou kunnen opvatten als twee eindpunten van een

continuüm. Afhankelijk van zijn leerproces zal een leerling zich gemiddeld ergens op dat continuüm bevinden. Terwijl hij zich anderzijds van situatie tot situatie, of van probleem tot probleem vaak over een heel gebied zal bewegen. Om zo langzaam, van ervaring tot ervaring zijn buitenschoolse structuur te veranderen op grond van schoolse leerprocessen. Waar het echter op aankomt is dat we ons nu juist realiseren dat zo'n continuüm er is, en van welke aard het is. Dat het niet gaat om een aanvankelijk 'lege' leerling waar het schoolbeeld eenvoudigweg 'ingeplant' kan worden. Of om een straatbeeld dat vanzelf verdwijnt als je maar het goede beeld laat zien. Het besproken onderzoek laat zien dat het zo makkelijk niet gaat. Dat verkeerde ideeën zeer hardnekkig kunnen zijn en juist onverwacht kunnen worden geactiveerd door de probleemstelling. Bijvoorbeeld door de 'Gestalt' van de waarneming van het passeren, of die van de getekende snelheden. Ook dat er mengbeelden of 'compromis structuren' kunnen ontstaan zoals het probleem van de vrije val liet zien. En de vraag komt dan op hoe je dit proces in het natuurkunde-onderwijs kunt versnellen

5. Enkele filosofietjes tot besluit

Communicatieverbetering

Kennis van de straatbeelden die leerlingen kunnen hebben lijkt nu uitermate belangrijk voor de lespraktijk van alledag. Hoe vaak gebeurt het niet dat leerlingen en leraren eenvoudigweg langs elkaar heen praten alhoewel dezelfde woorden worden gebruikt? Ieder gebruikt deze woorden immers vanuit zijn eigen interpretatie-kader en dus met zijn eigen betekenis. Het is duidelijk dat kennis van deze communicatie-stoornissen, want zo zou je dat kunnen noemen, het leerproces kan verbeteren. Vanuit dit gezichtpunt is het uitermate nuttig dat dit onderzoek naar straatbeelden gedaan wordt. Te meer daar een analyse van leerboeken al snel laat zien dat daarin weinig of geen aandacht wordt besteed aan deze leefwereld-ideeën. Daarin wordt gewoon het gewenste schoolbeeld netjes 'uitgelegd'.

Herordening

Dit onderzoek laat nu echter juist zien dat 'gewoon even uitleggen' niet voldoende is. De conclusie zou wel eens kunnen zijn dat de gebruikelijke leerstofordening op grond van de vakstructuur weleens radicaal zou moeten worden gewijzigd. Zo zijn er bijvoorbeeld in de Duitse literatuur voorstellen gedaan om het begrip 'traagheid' uit de schoolnatuurkunde weg te laten, juist omdat het bijna onmogelijk blijkt dit begrip op enigszins adequate wijze aan te brengen. Het blijkt een begrip te zijn dat zo overschaduw wordt door foute

straat-interpretaties, dat je het misschien maar beter helemaal moet vermijden op school. Maar wat voor consequenties heeft dat dan voor de structurering van de mechanica ?

Een waarschuwing lijkt ook op zijn plaats tegen al te groot optimisme ten aanzien van 'discovery-learning'. Of wel, de 'kracht van het experiment' blijkt vaak heel wat minder groot dan gehoopt en verwacht. Als je bijvoorbeeld als leerling denkt, wat veel blijkt voor te komen, dat traagheid vooral te maken heeft met 'het overwinnen van een wrijvingsdrempel', dan demonstreert de luchtkussenbaan alleen maar dat 'een kleinere drempel een voorwerp minder traag maakt'. Kortom het experiment wordt gewoon geïnterpreteerd vanuit de bestaande structuur en daarin netjes ingepast. En dachten wij niet dat het zo'n overtuigende demonstratie bood van het begrip traagheid ? Kortom, kennis van deze straatbeelden kan ons helpen bij het zoeken naar betere 'paradigmatische voorbeelden', zoals Freudenthal dat noemt. Voorbeelden die nadrukkelijker geschikt zijn om het ene paradigma te vervangen door het ander. Maar waar vind je die ? Moet je dan niet juist uitgaan van de 'rijke context' van de leefwereld zelf ?

Aansluiten bij de leefwereld ?

De laatste tijd wordt vaak beweerd dat het natuurkunde-onderwijs beter moet aansluiten bij de leefwereld. Hiervoor zijn allerlei goede redenen te noemen die vooral liggen op het gebied van de motivatie en relevantie van het geleerde voor de leerling. Ik ben het hier dan ook zeker mee eens. Problematischer wordt het echter als het erom gaat of deze leefwereld-aansluiting ook de fysische begripvorming bevordert. Op zich een aantrekkelijke gedachte, maar is dat wel zo ? Zou het niet met zo goed kunnen zijn dat aansluiten bij de leefwereld ook betekent nadrukkelijk aansluiten bij alle diep ingeslepen 'straatbeeld-ideeën' ? En dat je dan alle wortels van deze ideeën eerst expliciet moet gaan doorsnijden voordat je uiteindelijk terecht kunt komen bij de gebruikelijke 'cleane' modelmatige schoolnatuurkunde ? En kan dat wel in de toch al krappe beschikbare tijd ? Ik weet het niet, maar enige voorzichtigheid in onze conclusies lijkt me wel geboden.

Zelfszo sterk dat de vraag bij me opkomt of we er wel naar moeten streven dit straatbeeld in volle omvang te vervangen door een schoolbeeld.

Waarom zouden we dat eigenlijk proberen ?

Rijk of arm ?

Ik denk dat het nodig is om in het natuurkunde-onderwijs onderscheid te maken tussen twee 'soorten' natuurkunde. Enerzijds is er de 'mooie' modelmatige

fundamentele theoretisch gerichte natuurkunde, die tot doel heeft de natuur op een 'diepere' manier te begrijpen. Kortom de natuurkunde als fundamentele wetenschap en culturele verworvenheid, zoals die aan de huidige schoolnatuurkunde ten grondslag ligt.

Een heel andere 'soort' natuurkunde krijg je als het erom gaat je directe leefwereld beter te kunnen hanteren. Ik zou dat 'direct functionele natuurkunde' willen noemen. De natuurkunde-kennis die daarvoor dienstbaar kan zijn is veel technischer empirischer en pragmatischer van aard. 'Mooie' theoretische modellen zijn daarvoor veel minder noodzakelijk dan praktisch toepasbare know-how. Wat heb je aan een mooi theoretisch model over elektrische stroom, als je niet weet wat je moet doen als een zekering doorbrandt. Of als je alles weet van de harmonische trilling in het kader van geluid, maar nog steeds niet waaraan een goede luidspreker moet voldoen, die je van plan was te kopen.

Welnu, beide soorten natuurkunde hebben duidelijk bestaansrecht en het is een kwestie van doelstellingenkeuze hoeveel van wat wie wanneer het beste kan leren. Een discussie waar trouwens nog te weinig aan gedaan wordt, naar mijn mening. Ik geloof echter ook dat beide soorten natuurkunde een andere didaktiek vereisen. Als je streeft naar het wetenschappelijk beeld van de natuurkunde lijkt het me niet direct nodig steeds maar te proberen om aansluiting te vinden bij de leefwereld. Alleen voor zover dat nodig is om, zoals eerder betoogd, ongewenste interferentie te voorkomen. Een didaktiek die uitgaat van 'arme', modelmatige en geïdealiseerde contexten zou daarvoor wel eens het meest efficiënt kunnen zijn. Maar de hoofdzakelijk theoretische kennis die zo wordt aangebracht heeft dan nauwelijks wortels in de leefwereld en je mag dan ook niet eisen of verwachten dat deze kennis in die leefwereld functioneert. Dit toepassen van de geleerde theoretische kennis eist een apart leerproces, waar we meestal niet aan toekomen mede omdat het waarschijnlijk sterk onderschat wordt. Of, korter gezegd, leren in wetenschappelijke 'arme' contexten levert weliswaar in principe algemene kennis op, maar kan desondanks door de leerling alleen in dat soort arme contexten gebruikt worden. De leefwereld staat daar veelal buiten. Zelf heb ik dat nooit als een probleem ervaren. Ondanks een grondige training in de wetenschappelijke natuurkunde, met allerlei 'mooie' theorieën die 'de natuur' verklaarden, trad ik diezelfde natuur buiten school of laboratorium tegemoet met een grote dosis 'straatideeën', zonder dat ik me ook maar ooit gestoord heb gevoeld door enige tegenstrijdigheid. (Sta ik daarin alleen?). Immers, wetenschappelijke natuurkunde ook nog kunnen gebruiken in en toepassen op 'rijke' leefwereldcontexten eist een zodanig niveau van beheersing dat maar weinigen daar in volle omvang aan toekomen. Welnu, als we dan toch willen dat een leerling zijn natuurkunde kennis in zijn leefwereld kan gebruiken, dan moeten we, denk ik,

kiezen voor die bruikbare natuurkunde. En deze dan ook zoveel mogelijk in bruikbare rijke leefwereld contexten aanleren. Daarbuiten zal hij die kennis dan ook wel niet kunnen gebruiken. Je levert ook in wat betreft de 'algemeenheid' van het geleerde, want je komt waarschijnlijk niet meer toe aan het gebruikelijke 'hoge' niveau van theorievorming.

De 'wetenschappelijke natuurkunde' blijft misschien op grote afstand, doordat je veel dichter aansluit bij het straatbeeld. Maar hopelijk win je zeer veel aan toepasbaarheid en zinvolheid.

Of deze redenering juist is, weet ik niet. Daarnaast moet nog veel onderzoek verricht worden. Maar, betrekkelijk los daarvan staat de genoemde doelstellingen-discussie. Moge die, reeds nu, in volle hevigheid losbarsten !

Literatuur

1. J. Piaget, The Growth of Logical Thinking from Childhood to Adolescence, New York, Basic Books, 1958.
2. K. Lovell, The Relevance of Cognitive Psychology to Science and Mathematics Education, in W.F. Archenhold e.a. (eds.): Cognitive Development Research in Science and Mathematics. University of Leeds, 1979.
3. D. Trowbridge en L. Mc Dermott, Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension, Am. J. Phys 48, p. 1020, 1980.
4. D. Trowbridge en L. Mc Dermott, Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension, Am.J. Phys 49, p 242, 1981.
5. J. Piaget, Psychologie en kennisleer, Aula 492, Het Spectrum, Utrecht, 1973.
6. H. Ginsburg en S. Opper. Piaget's theory of intellectual development, an introduction. Prentice Hall, New Jersey, 1969.
7. L. Viennot, Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire, Hermann, Paris, 1979.
8. L. Viennot, Spontaneous Reasoning in Elementary Dynamics. Eur. J. Science Educ. 1, p. 205, 1979.
9. R. Driver, The representation of conceptual frameworks in young adolescent science students. Ph. D.Thesis, University of Illinois, 1973.
10. R. Driver, The pupil as scientist . Rapport, University of Leeds, 1980.
11. H. Margenau, The Nature of Physical Reality. Ox Bow Press, Woodbridge, 1977.
12. H.G.J. Duyker, L.C. Dudink, P.A. Vroon, Leerboek der Psychologie. Wolters Noordhoff, Groningen, 1981.

13. J.H. Larkin, F. Reif, Understanding and Teaching Problem Solving in Physics. Eur. J. Science Educ. 1, p. 191, 1979.
14. E. de Corte, C.M. Boermans, Processen van probleem oplossen: Vergelijking van een Amerikaanse en een Europese visie, Ped. Stud. 56, 163, 1979.
15. R. Hooykaas, Geschiedenis der Natuurwetenschappen. Oosthoek, Utrecht, 1971.
16. T.S. Kuhn, The Structure of Scientific Revolution. University of Chicago Press, 1974.
17. H. Koningsveld, Het verschijnsel wetenschap. Boom, Meppel, 1976.
18. J. Ziman, Public Knowledge. Cambridge University Press, 1976.
19. W. Jung, H. Wiesner, P. Engelhardt, Vorstellungen von Schülern über Begriffen der Newtonschen Mechanik. Verlag Barbara Franzbecker, Bad Salzdetfurth, 1981.
20. J. Clement, Students' preconceptions in introductory mechanics. Am. J. Phys. 50, p. 66, 1982.

Diskussie

nav de lezing van P.L.Lijnse

(Door de gewoonte van veel vragenstellers om hun naam te mompelen nog voor de mond in de buurt van de mikrofoon is aangekomen, kan ik niet in alle gevallen instaan voor de persoonsaanduiding. Ook de deelnemerslijst geeft geen soelaas.)

Van Dodeweerd: Waarom overheerst het schoolbeeld nog in het 3e leerjaar van de universiteit?

Antwoord: Dat weet ik niet.

Overigens zijn de gegevens hierover te summier om er statistische konklusies uit te trekken.

In 't Hout??: Het woord kracht blijkt in de gewone taal veel meer betekenissen te hebben dan de door ons gebruikte.

In het voorbeeld van de vraag over de omhooggeworpen bal wordt "kracht" geïnterpreteerd als kinetische energie.

(Historisch: levende kracht) Zou een goed straatbeeldwoord voor kinetische energie niet beter zijn?

Antwoord: Inderdaad.

Het fysisch taalgebruik in interviews is vaak rommelig.

Bij potentiële energie zijn er overigens minder problemen.

Hooymayers: Leerlingen geven mengvormen van antwoorden.

Op straatbeeldvragen komen straatbeeldantwoorden en op schoolbeeldvragen schoolbeeldantwoorden.

Dit laatste is belangrijk voor toekomstige natuurwetenschappelijke werkers, naar schatting 700 per leerjaar.

Is het verantwoord om met zo'n beperkt aantal schoolbeeldgebruikers toch het "straatbeeldbegrijpen" uit te schakelen?

Antwoord: Hoever moet je gaan?

Onderbouw wel straatbeeldkontekstrijk en bovenbouw meer schoolbeeld?

Je moet wel wat opofferen van de leefwereld. Modelmatige natuurkunde heeft een functie voor een breed vervolgonderwijs.

Middelink:

Fysische woorden hebben al een betekenis in het straatbeeld b.v. warmte, temperatuur, energie en overdracht van energie.

Hebben chemici het makkelijker omdat ze minder straatbeeldwoorden gebruiken?

Antwoord:

Inderdaad.

plenaire diskussie

Stellingen

Wat het mechanika onderwijs betreft vind ik het jammer/niet goed dat:

- Ik niet of nauwelijks durf experimenteren met een andere aanpak omdat ik nu al in tijdnood ben (in havo).
- Er hier zoveel moois gezegd wordt waar noch in boeken noch in examens iets van terug te vinden is.
- Je wel leuke dingen kunt doen maar dat dit ten koste gaat van zwakke leerlingen.

Ik vind dat zwakke leerlingen veel baat hebben bij het doen van leuke dingen.

Diskussie

L. ten Brinke: Het programma zit vol. Voor "leuke dingen" is geen tijd.

Deze tijd is misschien te maken door een herordening van de leerstof en gebruik van effectieve werkvormen.

Dit betekent wel dat je grote leerstof eenheden tegelijk moet aanpakken. Een leraar met volledige weektaak heeft hiervoor geen tijd.

H. de Vries: Hoe zelfstandiger leerlingen, des te minder tijdnood in de bovenbouw. Hierdoor komt tijd vrij waarvan speciaal de zwakkere leerlingen kunnen profiteren.

Een ander heet hangijzer is de hoeveelheid leerstof. Het niveau van een opleiding is te sterk gekoppeld aan de hoeveelheid leerstof. Door deze twee te ontkoppelen kun je door verminderen van de hoeveelheid leerstof tijd winnen.

H. v. Aalst: Ik ben het met ten Brinke eens dat het aanbrengen van kleine wijzigingen in de leerstof onevenredig veel tijd van de leraar vraagt. Op de markt echter liggen tal van voorbeelden van grote afgeronde stukken leerstof die als geheel in de school zijn te gebruiken.

P. Verhagen: Het is niet alleen een kwestie van kunnen, maar vooral van durven. Het risico voor leerlingen, die examen moeten doen, is erg groot.

H. Biezeveld: Praktikum levert op den duur tijdwinst op; dat risico moet je durven lopen.

G. Beukema: Vernieuwing van het natuurkunde onderwijs kan op zo'n manier slechts ten koste van de vrije tijd van de leraar. Als hij dat er voor over heeft; prima, maar het is niet vanzelfsprekend dat hij dit doet.

Onderwerp 2

Wat het mechanika onderwijs betreft vind ik dat:

- Ik me niet kan voorstellen hoe ik in hemelsnaam als zoon van Middelink bij Mulder in de klas zou kunnen zitten en omgekeerd.

N.N.: De leerling van Middelink zal zich zeker thuisvoelen in het onderwijs zoals de heer Mulder dat vormgeeft, gezien de "leuke dingen" die worden opgedaan in het onderwijs waar "Middelink" wordt gebruikt.

H. Hooymeyers: Leerlingen kunnen zeer verschillende stijlen hebben van leren. Het is dus niet te verwonderen, dat zowel Middelink als Mulder enthousiaste, maar ook verveelde leerlingen in de klas hebben.

Je zult het als goede leraar moeten zoeken in afwisseling van werkvormen. Zowel "Middelink" als "Mulder" stijl en andere zullen moeten worden geïmplementeerd.

O. Dijkstra: Kun je het konflikt tussen schoolbeeld en straatbeeld niet vermijden door voor besmette begrippen als kracht, energie enz. voor leerlingen onbekende woorden te gebruiken en met deze begrippen vanuit de definitie te werken en pas later de verbinding te leggen met het straatbeeld.

D. v. Genderen: Ik heb goede ervaring met de werkwijze waarbij ik uitga van het "straatbeeld" dat leerlingen bij een bepaald woord hebben b.v. kracht. De klas inventariseert alle woorden waar b.v. het woord kracht in voorkomt. Van daaruit wordt gewerkt naar het fysieke begrip kracht en meting van de grootte.

Het proces van straatbeeld naar schoolbeeld moet zeer geleidelijk verlopen. Met het gebruik van allerlei kunstmatige woorden kun je dit proces niet omzeilen.

H. v. Aalst: Van rijke context naar kale formules vind ik geen goed alternatief. Contexten zijn voor kinderen maar ook voor volwassenen veelal niet betekenisvol. Een veiligheidskooi in een auto is veelal geen betekenisvol ding maar een reclamekreet waarmee auto's worden aangeprezen.

De behandeling in de natuurkunde moet er op zijn gericht deze context betekenisvol te maken. Betekenisvol in die zin dat ze uitwisselbaar is tussen individuen in de samenleving.

Of dit nu met of zonder formules gaat is voor mij een 2e orde vraag. Ook het konflikt straatbeeld-schoonbeeld is voor mij een 2e ordeprobleem.

J. Sinniger: Je moet in de onderbouw met praktikum beginnen, wil je er in de bovenbouw baat bij hebben.

N.N.: Als "leuke dingen" het eindpunt zijn van een overigens kaal en systematisch onderwijs, dan zullen zwakke leerlingen hier niet zo veel aan hebben. Als "leuke dingen" het fundament vormen van het natuurkunde onderwijs van waaruit verder wordt gewerkt, dan zullen hiervan ook de zwakke leerlingen profijt hebben.

De kwaliteit van "leuke dingen" hangt af van de functie die ze in onderwijs hebben.

H. de Vries: Je kunt de schoolnatuurkunde bekijken vanuit de invalhoek van de vakdiscipline. Vanuit deze invalhoek vormen "leuke dingen" veelal het sausje dat de taaië natuurkunde best eetbaar moet maken.

Je kunt de schoolnatuurkunde ook benaderen vanuit een maatschappelijke optiek. De vraag is dan welke bijdrage kan natuurkunde leveren aan het toekomstig functioneren van leerlingen in de maatschappij.

De natuurkunde wordt hieraan ondergeschikt gemaakt.

Onderwerp 3

Wat het mechanikaonderwijs betreft heb ik hier geleerd dat:

- keuzeonderwerpen er uit moeten
- ik hierover nog nooit heb nagedacht.

Beukema: Ik zou wel willen discussiëren over een examen dat geheel uit keuzeonderwerpen bestaat.

v.d. Runstra: Ik wil meer vrijheid in de keuze van de onderwerpen, dus niet uitsluitend de tien in het examenprogramma.

H. Biezeveld: De meeste onderwerpen zijn vervelend en steriel.

H. Hooymayers: Een van de argumenten voor het invoeren van keuzeonderwerpen was dat hiervoor een continue aanpassing van het VWO-programma mogelijk zou worden.

Een heel ander punt is de grote sturende invloed van het examenprogramma op het voorafgaande onderwijs. Het hele (bovenbouw) onderwijs is gericht op het examen en op de prestatie die een leerling daar moet leveren.

Leerlingen vinden een methode die ze zonder franje, maar met zekerheid op sukses, voorbereidt op het examen fijner dan een methode, die weliswaar alle kenmerken van "goed" onderwijs in zich heeft, maar juist wat examenvorberei-

ding betreft de leerlingen in onzekerheid brengt. Zolang er een examen is waarin geen "leuke dingen" worden getoetst, blijven deze zaken in het onderwijs franje en in veel gevallen voor leerlingen niet akseptabele ballast.



deel II

subgroep 1 :

Een nieuwe vorm voor (so en cse) opgaven

K. Kortland

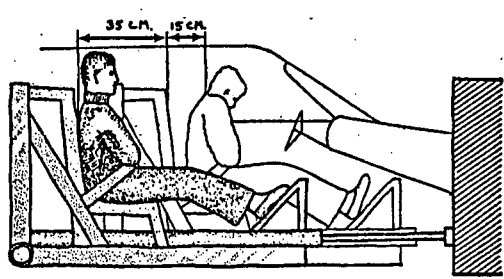
Vanaf 1978 nemen een aantal mavo-scholen en mavo-afdelingen aan scholengemeenschappen in het kader van het Projekt LeerpakketOntwikkeling Natuurkunde (PLON) deel aan een afwijkend centraal schriftelijk eindexamen. Vanaf 1981 was dit examen gebaseerd op een van het landelijke programma afwijkend examenprogramma voor de mavo.

De PLON-examens voor mavo maken het mogelijk om

- beter aan te sluiten bij wat er gebeurt in de natuurkundelessen waarin PLON-materiaal gebruikt wordt;
- te experimenteren met vraagstellingen over andere inhouden (b.v. materiaalspanning, geluid, natuurkunde en samenleving), met andere vraagvormen (b.v. korte- en lange-antwoord-vragen), met een andere samenstelling van het examen als geheel (b.v. op basis van klassifikaties naar denkactiviteit van de leerlingen-herinnering van theorie of experiment, begrip of kritisch/kreatief inzicht- en klassifikaties naar kontekst van een vraag - 'wetenschaps'theorie en -methodiek, techniek, natuur of samenleving).

Hier volgen twee (willekeurige) voorbeelden van vragen uit PLON-examens van de afgelopen jaren.

Examen MAVO-4, 1979 - PLON-experiment.



Je ziet hierboven een slee getekend met een proefpop. De opstelling wordt gebruikt bij het onderzoeken van veiligheidsgordels.

De vetgetokende lijnen geven de situatie aan vlak vóór de botsing. De auto had toen een snelheid van 54 km/h.

De gestippelde lijnen geven de situatie weer vlak ná de botsing. Je ziet dat de slee zich bij de botsing 35 cm heeft verplaatst en dat bovendien de pop in de slee 15 cm is opgeschoven.

a. Bereken de gemiddelde kracht die de veiligheidsgordel tijdens de botsing op de pop uitoefent. De massa van de pop is 75 kg.

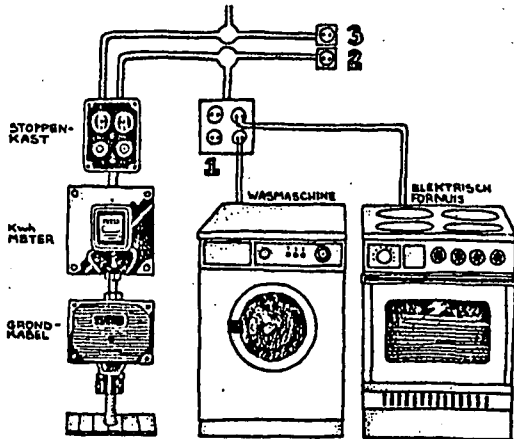
b. Noem een voordeel, maar ook een nadeel van een riem die méér rek had vertoond.

Voordeel: _____

Nadeel: _____

Herexamen MAVO-4, 1981 - PLON-examen -

In onderstaande tekening zijn op contactdoos 1 een wasmachine en een elektrisch fornuis aangesloten.
Als op deze contactdoos ook nog een droogtrommel wordt aangesloten, dan slaat de stop van 16A door.



a. Om de droogtrommel toch te laten werken, kunnen we hem:

- A. wel op contactdoos 2, maar niet op contactdoos 3 aansluiten A
- B. wel op contactdoos 3, maar niet op contactdoos 2 aansluiten B
- C. zowel op contactdoos 3 als op contactdoos 2 aansluiten C
- D. niet op contactdoos 3 en niet op contactdoos 2 aansluiten D

Iemand wil dit probleem geheel anders oplossen; hij wil de stop van 16 A vervangen door een stop van 25 A.

b. Leg uit waarom je dit een goede of juist geen goede oplossing vindt.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Het werken van de deelnemers aan de subgroep was gebaseerd op (delen van) een nog te verschijnen publikatie 'Principes voor nieuwe examens' van Wiebe Bijker. De verschijning van dit boek zal te zijner tijd via de daarvoor geeigende kanalen worden aangekondigd.

In dit boek worden de genoemde klassifikaties van (examen)vragen uitgebreid behandeld, worden een aantal 'konstruktie regels' gegeven voor het maken van (examen)vragen en worden een groot aantal voorbeelden van vragen gegeven.

Meer informatie over het PLON en de PLON-mavo-eindexamens is te vinden in de volgende publikaties:

- . PLON-informatiepakket (f 10,--)

Een beschrijving van het PLON-leerpakket in de drie leerjaren van het mavo en het tweede en derde leerjaar havo/vwo: uitgangspunten, themabeschrijvingen, curriculumbeschrijving, voorbeeldpagina's uit leerlingenboeken en docentenhandleidingen, enz.

- . Informatie over eindexamens: PLON-examen mavo-4 1978-1981 (f 5,--)

Een korte beschrijving van de vorm en opzet van de PLON-examens en een overzicht van de door de proefschooll leerlingen behaalde resultaten. Tevens zijn alle PLON-mavo-eindexamens uit de periode 1978-1981 in dit verslag opgenomen.

- . Een voorstel tot wijziging van het examenprogramma mavo-4 (gratis)

In dit voorstel staat het examenprogramma beschreven en toegelicht op basis waarvan het PLON-mavo-eindexamen vanaf 1981 wordt samengesteld.

De hierboven genoemde publikaties zijn te bestellen bij:

PLON. Lab.voor Vaste Stof, Postbus 80.008, 3508 TA Utrecht. Tel.: 030-53 27 17.

subgroep 2:

(Leer)ervaring met VERKEER en VEILIGHEID's proeven

A.E.v.d.Valk

R.F.A.Wierstra

De werkgroepbijeenkomsten bestonden uit twee delen:

1. De deelnemers voerden enkele proeven uit het PLON thema Verkeer en Veiligheid uit, met name een fietsproef.
2. Er werd een videoband getoond over leerlingen van de R.S.G. Schagen die met diezelfde fietsproef bezig waren.

In dit verslag beperken we ons tot het bespreken van de fietsproef, de achtergronden ervan en de ervaringen die de deelnemers ermee hadden.

De proefinstructie in het themaboek Verkeer en Veiligheid luidt:

2.2 EEN EERSTE BEWEGINGSWET

Als je op een fiets gaat rijden of afremt, gaat de snelheid van de fiets veranderen. Hoe groot die verandering is, hangt van een aantal dingen af. Die dingen ga je in de volgende proef onderzoeken. Neem even voor het gemak aan dat de wrijvingskrachten op de fiets te verwaarlozen zijn.

PROEF 5 De snelheidstoename van een fiets

Iemand gaat op een fiets zitten en wordt voortgetrokken aan een veerunster. Probeer met de veerunster een zo constant mogelijke kracht uit te oefenen. Kies een kracht, bijv. 40 N. Let ook steeds op de weg die de fietser aflegt tijdens de proef. Die weg heb je nodig voor een tweede bewegingswet (zie par. 2.4).

a. Oefen die kracht achtereenvolgens uit gedurende 2/s; 4/s; 6/s.

Conclusie: hoe langer de tijd dat de kracht wordt uitgeoefend is, hoe de snelheidsverandering is.
b. Doe de proef met één berijder, en met 2 berijders (en nog meer?). Neem de tijd, bijv. 4 s en de kracht weer 40 N.

Conclusie: hoe groter de massa is hoe de snelheidsverandering is.

c. Doe de proef nogmaals, maar met een grotere en een kleinere kracht.

Conclusie: hoe groter de kracht is hoe de snelheidsverandering is.

Bij proef 5 heb je gezien dat de snelheidsverandering afhangt van:

- de tijd dat je de kracht uitoefent
- de massa van de fiets met berijders
- de grootte van de kracht.

De samenhang tussen tijd, massa, kracht en snelheidsverandering kan je weergeven in een natuurkundige wet, die in formulevorm luidt:

$$F \cdot t = m (v_{\text{EIND}} - v_{\text{BEGIN}})$$

Hierbij* is:

F de remkracht of de versnellende kracht, uitgedrukt in *newton* (N)

m de massa (traagheid) van het voorwerp, uitgedrukt in *kilogram* (kg)

v_{eind} de snelheid die het voorwerp VLAK NA het remmen of versnellen heeft, uitgedrukt in *meter per seconde* (m/s)

v_{begin} de snelheid die het voorwerp VLAK VOOR het begin van het remmen of versnellen heeft, uitgedrukt in *meter per seconde* (m/s)

t de tijd dat de kracht is uitgeoefend uitgedrukt in *seconde* (s)

Opdracht 3

Ga aan de hand van je conclusie uit proef 5 na of deze wet kan kloppen.

2.4 EEN TWEEDE BEWEGINGSWET

In proef 5, de proef over de snelheidstoename van de fiets, heb je je misschien verbaasd over de verschillen in afgelegde weg, die er tussen de verschillende experimenten waren. De tweede bewegingswet gaat daarover. Daarom staat hier nogmaals een deel van proef 5:

proef 12 Tijd en weg bij het versnellen van een fiets

Iemand gaat op een fiets zitten en een ander trekt hem/haar voort aan een veerunster met een constante kracht, bijvoorbeeld 40 N.

- Meet de bij het versnellen afgelegde weg als er gedurende 2 s wordt versneld. Evenzo bij 4 s en 6 s versnellen.
- Wat weet je uit de eerste bewegingswet over de snelheid van 3 s en de snelheid na 4 s versnellen?
- En na 6 s? Wat is je conclusie over (eind)snelheid en afgelegde weg?
- Weet je daarvoor een verklaring?

Bij de proeven 6 t/m 10 hebben jullie ook al naar de afgelegde weg gekeken. Omdat die proeven over remmen gingen, spraken we over *remweg*.

De samenhang tussen (rem)weg, kracht, massa, beginsnelheid en eindsnelheid (de remtijd dus *niet*) wordt gegeven door de TWEEDE BEWEGINGSWET. Die is wat ingewikkelder omdat de snelheden in het kwadraat staan.

In formulevorm luidt die wet:

$$F \cdot s = \frac{1}{2} m v_{\text{EIND}}^2 - \frac{1}{2} m v_{\text{BEGIN}}^2$$

s is het symbool voor afgelegde weg*, uit te drukken in *meter*.

De andere symbolen zijn al bekend.

Ook deze wet geldt alleen maar als de kracht die werkt steeds even groot is en als de richting van de kracht gelijk is of tegengesteld is aan de bewegingsrichting.

Opdracht 15

Ga na of je conclusie uit proef 12 ongeveer overeenstemt met wat je op grond van de 2e bewegingswet zou verwachten.

Toelichting:

Uit evaluatieonderzoek van dit thema bleek dat leerlingen vaak begripen als kracht en snelheid door elkaar halen met als achtergrond het foutieve idee uit de dagelijkse ervaringswereld dat een grotere kracht overeenkomt met een (konstante) grotere snelheid.

Om dit, wat Piet Lijnse in zijn voordracht noemde, straatbeeld te doorbreken is het volgens het PLON nodig dat de leerling in plaats van dat straatbeeld een nieuwe ervaring te krijgen: het voortrekken van een fiets met een constante kracht betekent dat je steeds harder moet gaan lopen. Anders blijft die kracht niet konstant (mits de kracht natuurlijk aanzienlijk groter is genomen dan de maximale wrijvingskracht).

Bij het uitvoeren van de proef werd de ervaring van het steeds harder moeten lopen door de deelnemers als behoorlijk nieuw ervaren, ondanks dat iedereen natuurlijk de theorie goed kent.

Volgens een aantal deelnemers kun je deze proef alleen op zijn waarde schatten als je zelf die ervaring hebt meegemaakt.

SUBGROEP: **3**

MECHANICA IN PLON-havo bovenbouw

F.L.Gravenberch

H.M.C.Eijkelhof

In het thema "Verkeer" voor 4 havo wordt aandacht besteed aan de volgende vragen:

- welke variabelen zijn bepalend voor de remweg van een bewegend voertuig. Welke rol speelt de reagerende mens hierbij.
- welke grootte hebben de krachten op de inzittenden van botsende auto's. Welke mogelijkheden en beperkingen hebben veiligheidsvoorzieningen als kreukzônes en veiligheidsriemen.
- wat is het belang van rolwrijving resp. luchtwrijving op de energiebehoefte van bewegende auto's.

Verkeer is opgezet vanuit specifieke opvattingen over:

- samenhang tussen experimentele ervaringen van leerlingen en theorievorming.
- kwalitatieve oriënterende resp. kwantitatieve modelexperimenten.

subgroep 4 :

DBK-HAVO- bovenbouw :

een nieuwe aanpak van de natuurkunde

J. van Riet

Het DBK-natuurkunde materiaal vindt in de onderbouw een steeds ruimere verspreiding. In het verlengde hiervan groeide er steeds meer behoefte naar een voortzetting van de DBK-methode in de, vooral havo-, bovenbouw. In 1980 werd daarom binnen de Vereniging DBK - na de werkgroep havo-bovenbouw (DBK-HABO) opgericht. Deze heeft tijdens de 'Woudschoten'konferentie 1981 een opzet gepresenteerd voor een nieuw curriculum, uitgaande van het huidige examenprogramma.

Enkele uitgangspunten hierbij waren: In de onderbouw vindt het leerproces als volgt plaats: d.m.v. experimenten verbazing en interesse opwekken, probleemstelling formuleren, waarnemen, ordenen in tabellen en grafieken, conclusies trekken, theorie maken d.m.v. een eenvoudige verklaring van de experimenten en het duidelijk maken van de begrippen; in mindere mate komen hierbij modellen en formules aan de orde. Juist op dit laatste ligt van oudsher in de bovenbouw de nadruk, evenals op het probleemoplossen. Dit leidt tot de beruchte niveau-sprong van 3h naar 4h. Anderzijds is een (groot) deel van de mavo-instroom gewend aan het veel sommen maken op basis van een min of meer kant en klaar gepresenteerde theorie.

Beide groepen leerlingen moeten dus op een geheel eigen wijze groeien in een methodiek waarin, naast behoud van de hierbovengeschetste experimentele vaardigheden, de theorievorming en het probleemoplossen gepaste aandacht krijgen. Vandaar een keuze voor een bovenbouw-curriculum met differentiatie mogelijkheden en een geleidelijke opklimming in moeilijkheidsgraad.

Deze uitgangspunten zijn als volgt uitgewerkt:

- De gangbare volgorde van onderwerpen (eerst alle mechanica enz.) is didactisch gezien onlogisch en ongewenst, biedt te weinig afwisseling en laat de leerlingen geen dwarsverbanden zien. Wij kiezen, globaal, voor de volgende opbouw: inleiding mechanica (vooral vaardigheden als werken met stroboscopische foto's en grafieken), introductie trillingen (a.d.h. van geluid) en

golven (waarbij geometrische- en golfoptika parallel behandeld worden), energie (mechanische-, elektrische- en vooral kernenergie), dynamika, kinematika (de mechanika wordt dus min of meer in 'omgekeerde volgorde' gepresenteerd), vektoren, 2e ronde golven, elektriciteit (eerst dynamika, dan statika) en magnetisme, mikroskopische eigenschappen van stoffen en atoomfysika.

Overigens wordt geprobeerd om deze volgorde enigszins flexibel te maken door aan een aantal blokken een inleiding toe te voegen.

- Het lijkt ons juist voor havo-leerlingen zeer geschikt om natuurkundige problemen te introduceren vanuit de techniek en de maatschappij teneinde de relevantie ervan aannemelijk te maken. Via doelgerichte experimenten moeten ze dan naar de theorie gebracht worden. Tot slot proberen we dan om de zojuist aangebrachte begrippen weer toe te passen op technische en maatschappelijke zaken. In het VWO-bovenbouwproject, waarin o.a. het PLON participeert, is dit het zandloper-model genoemd.
- Het verschil met PLON is o.a. dat wij gedwongen zijn binnen het bestaande examenprogramma te blijven. Mede daarom hebben we niet gekozen voor de z.g. thematische aanpak.

Om ruimte te krijgen voor de hierboven vermelde technische en maatschappelijke in- en uitgangen, evenals voor experiment en differentiatie streven we naar een bondige presentatie van de theorie, waarin de hoofdlijnen en dwarsverbanden zo goed mogelijk duidelijk gemaakt worden, zonder te verdwalen in allerlei diepgravende details. Hierbij sluiten we aan bij de huidige eindexamenpraktijk. Wat dat betreft is het belangrijk dat wij de leerlingen erin oefenen om hun kennis en kunde toe te passen in nieuwe situaties.

Dus veel aandacht voor probleemoplossen.

- De havo-bovenbouw-leerlingen vormen bepaald geen homogene groep. Behalve de al genoemde verschillen tussen 'eigen kweek' en mavo-instroom, zijn er ook grote verschillen in het niveau dat zij aankunnen, en vooral in het tempo waarin dat gebeurt. Vandaar dat wij een differentiatie-methode, gebaseerd op het basisstof-herhaalstof-extrastof model, zeer zinvol achten. Om hiervoor tijd vrij te maken levert de basisstof weliswaar de complete eindexamenstof, maar tot een bepaald niveau. Deze basisstof kan en moet in een behoorlijk tempo doorgewerkt worden. De zwakkere leerlingen moeten deze stof - waarschijnlijk na het doorwerken van herhaalstof waarin zij leren om de puntjes op de i te zetten (zeker in de havo geen overbodige luxe) - zodanig beheersen dat zij voor het eindexamen, menselijkerwijs gesproken, een voldoende kunnen halen. Voor veel leerlingen is dat al een mooi ideaal! De betere leerlingen hoeven zich tijdens deze bondige basisperiode niet al

te zeer te vervelen en kunnen op een hoger niveau komen via stof die hier dan ook geen extra-, maar verrijkingstof heet. Wij hopen hiermee de leerlingen in al hun verscheidenheid 'naar maat' te kunnen bedienen, zodat zij hun tijd efficiënt kunnen besteden. Tijdens de cursus 1980/81 heeft één schrijfgroep als eerste vingeroefeningen een blok over statika gemaakt. Dit is in Noordwijkerhout gepresenteerd. Als praktische toepassing van de hefboomwet is hierin veel aandacht aan het begrip stabiliteit besteed. Gedurende de cursus 1981/82 werken 4 schrijfgroepen - regionaal verdeeld - elk aan 2 blokken.

De 2 zittingen van de werkgroep HABO in Noordwijkerhout kenmerkten zich door grote interesse en geanimeerde discussie. Op 2 punten bleek onder de deelnemers enige zorg te heersen:

- De grote hoeveelheid tekst en papier van het blok statika. Hierbij moet men bedenken dat deze experimentele tekst wel zeer ruim (te ruim) getypt is en dat elk blok bovendien bevat: een uitvoerige leerdoelenlijst, een compleet praktikum, diagnostische toetsen, herhaal- en verrijkingsbladen. Overigens wordt het materiaal losbladig geleverd, zodat elke docent(e) de mogelijkheid tot aanpassing heeft.
- Is de opklimming in moeilijkheidsgraad niet al te geleidelijk, waardoor te veel problemen (vooral van wiskundige aard) naar klas 5 verschoven worden? Bedankt voor deze opmerkingen, mensen, we zullen dit nauwlettend in de gaten houden! Hierbij tekenen we wel aan dat de eerste blokken weliswaar minder wiskunde bevatten, maar veel oefening geven in het ontwikkelen van vaardigheden en probleemoplossen. Dit is al moeilijk en belangrijk genoeg.

We hopen over 1½ à 2 jaar met het projekt klaar te zijn; met deze tijdsplanning lopen we des te minder risico als sommige schrijfgroepen nog iets beter bemand/bevrouwde worden.

Degenen die de moeite hebben genomen om dit artikel tot hier toe te lezen kunnen reageren of meer informatie inwinnen bij:

- de schrijver dezes: Hans van Riet, Dick Ketstraat 1, 3443 VP Woerden, tel. 03480 - 13879 of
- de sekretaris van de Vereniging DBK-na:
Evert Wisgerhof, Grondmolen 87, 3352 CD Papendrecht, tel. 078 - 156740.

SUBGROEP: **5**

DIFFERENTIËREN

M. Kindt

(kennismaking met een wiskunde-pakket voor 4 vwo)

Het leerplan wiskunde voor Rijksscholen vermeldt sinds enige jaren voor het vierde leerjaar v.w.o. het onderwerp: *inleiding tot de differentiaalrekening*. Oorspronkelijk was het de bedoeling van de opstellers van het leerplan om het analyse-onderwijs in het v.w.o. te laten starten in de vijfde klas. Netjes verantwoord met 'continuïteit' en 'limieten'. Maar het natuurkundeprogramma stelde zijn eisen.

In de vierde klas begint het onderwijs in de kinematica en daarbij is enige notie van differentiëren onontbeerlijk. En ook voor A-leerlingen leek het geen luxe om als voorbereiding op economie I in het vierde leerjaar alvast wat aan differentiëren te doen. Vandaar dat er alsnog besloten werd om de differentiaalrekening in het leerplan naar voren te halen.

Dit vervroegen van het aanvangsonderwijs in de analyse betekent uiteraard een toegankelijk maken van de stof voor *alle* vierde-klassers van het v.w.o. Met alle didactische implicaties van dien !

Zo zal men af moeten zien van de min of meer strenge behandeling die de leerplanmakers aanvankelijk voor ogen stond. En omdat het juist de andere vakken (natuurkunde, economie) zijn, die op dit punt het leerplan hebben beïnvloed, ligt het voor de hand om de differentiaalrekening niet al te exclusief-wiskundig te presenteren.

In het leerstofpakket "Differentiëren I" heeft het IOWO geprobeerd deze uitgangspunten te concretiseren. Door de gekozen benaderingswijze, *intuïtief, weinig formeel en verweven met toepassingsgebieden* wijkt het pakket nogal af van de gangbare wiskunde-methoden.

In deze werkgroep kan op basis van stukjes leerlingentekst o.a. worden gediscussieerd over een mogelijke samenwerking tussen natuurkunde- en wiskundeleraren.

SUBGROEP: **6**

MEETKUNDE: KIJKEN, DAN WEET JE WAT JE ZIET

G.Schoemaker

A.Goddijn

Waarom worden schaduwen 's avonds langer ?

Zijn lampeschaduwen en zonnenschaduwen wel hetzelfde ?

Waarom verandert de maan van vorm ?

Waarom lopen spoorrails in de verte naar elkaar toe ?

Hoe maak je een tekening met diepte ?

Eenvoudige vragen over alledaagse verschijnselen. Wie naar antwoorden zoekt krabbelt al gauw wat lijnen op papier, die de essentie van de verschijnselen moeten weergeven. Zo leiden zulke vragen tot meetkunde. Niet de formele meetkunde van axioma's, stellingen en 'gegeven A, te bewijzen B'. Niet direct tenminste. Wel tot meetkunde die zich in alles om ons heen verbergt en op ontdekking door onze nieuwsgierigheid wacht.

In deze werkgroep willen wij bekijken hoe deze meetkunde in het onderwijs aan 12 tot 14-jarigen functioneert. Dat doen we aan de hand van materiaal dat voor die leerlingen geproduceerd is en uitvoerig getest is.

We verkennen ook hoe in het materiaal voor de HEWET deze ideeën een voortzetting krijgen in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs.

SUBGROEP: **7**

BEWEGING IN DE KLAS

P.Latta

P.Koopmans

W.Bustraan

Veel leerlingen struikelen in ons onderwijs over de abstracte en formele inhoud van de leerstof.

Zeker bij het mechanikaonderwijs blijken de wiskundige verwerking (formules) en de formele begrippen (versnelling, interpreteren grafieken) een struikelblok.

Wij denken dat vaak de opzet bij het (mechanika)onderwijs niet aansluit bij de wijze waarop de leerlingen de begrippen in de dagelijkse praktijk ervaren of ervaren hebben (systeemscheiding!).

Pas na een duidelijk beschrijvende (zo U wilt konkrete) fase is het mogelijk dat leerlingen abstrakt/formeel met het onderwerp aan de slag kunnen. Gesteund door resultaten van onderzoek naar ontwikkelen van denkniveaus bij leerlingen hebben we een mechanika opzet ontwikkeld en uitgetoetst die aansluit bij de denkwijze van de leerlingen.

In de groepsbijeenkomst willen we met het ontwikkelde materiaal werken en met u van gedachte wisselen over de door ons voorgestelde opzet en de bruikbaarheid bij de introductie van de mechanikastof.

SUBGROEP: 8

J.G.Lommen

A.J.Migchielsen

BETERE VERANKERING VAN BEGRIPPEN DOOR PRAKTIKUM

Ontwikkeling van een mechanicapraktikum. Ervaring daarmee
(aanleiding: invoering verplicht praktisch schoolonderzoek)

1. Uitgangspunten

- a. Centrale begrippen liefst op verschillende manieren verankeren:
praktisch, theoretisch, probleemoplossend → inbouw van een aantal proeven in het leerproces als inleiding op centrale begrippen en relaties en als verheldering van het gebruik van deze begrippen en relaties.
- b. Leerboek (Middelink) geeft op alle vragen een antwoord (soms nog voor dat de leerling de vragen bedenkt) → het leerboek kan in sterke mate zelfstandig worden doorgenomen. Als hulp daarbij krijgt de leerling een 'leeswijzer': een verzameling aanwijzingen bij de studie, overzicht van doelen ('kennen' en 'kunnen') en een lijst van te maken vraagstukken. Doel daarvan is mede: niet teveel tempo verlies in de theorie. Praktikum naast dit boek moet niet alleen vragen beantwoorden, het moet ook vragen oproepen.
- c. Een zo volwaardig mogelijke praktische opleiding: ontwikkeling in de tijd van sterk voorgebakken proef tot zo volledig mogelijke onderzoekssituatie. Mechanica praktikum moet leerlingen helpen de sprong te nemen van werken in de onderbouw naar stationspraktikum.
Klassikale proeven → gezamenlijke bespreking mogelijk.
Elementaire vaardigheden in het begin benadrukken, later er van uitgaan dat die bekend zijn. Liever veel goedkope begrijpelijke apparatuur dan een enkel duur instrument. Liever een gemotiveerde schatting van de nauwkeurigheid van een uitkomst dan hoge precisie.

2. Wat ligt er nu ?

- a. Een serie van 22 gemeenschappelijke proeven (waarvan een aantal twee praktikumlessen kosten). De opbouw van deze proeven:
 - inleiding: richtende vragen, toevoegen onbekende theorie
 - duidelijke onderzoeksoopdracht
 - meetmethode en experiment
 - verwerkingsvragen: resultaten, konsekwenties, konklusies
- b. Leeswijzer voor het hele jaar
- c. Tien stations/praktikumproeven (inleiding tot meer zelfstandig werk).

- d. Leerlingen krijgen behoorlijk grote vertrouwdheid met opstellingen (verdwijnen opstelling vrees)

3. Problemen

- a. Tempoverlies in theorie verminderen leverde spanning op met wat opener opdrachtvorm — vooral inleidende proeven moesten sterker gestructureerd worden via sturende opdrachten
- b. Beoordeling van verslagen (niet van het totale praktikum !) erg moeilijk, en werkt soms weer het sterker structureren van vragen in de hand.
- c. Nabespreken praktikum loopt niet gesmeerd
- d. Hoge (te hoge ?) eisen aan leerlingen: vooral tijd

subgroep 9 :

De micro-computer in de natuurkunde les :

toepassingsmogelijkheden, voordelen en nadelen

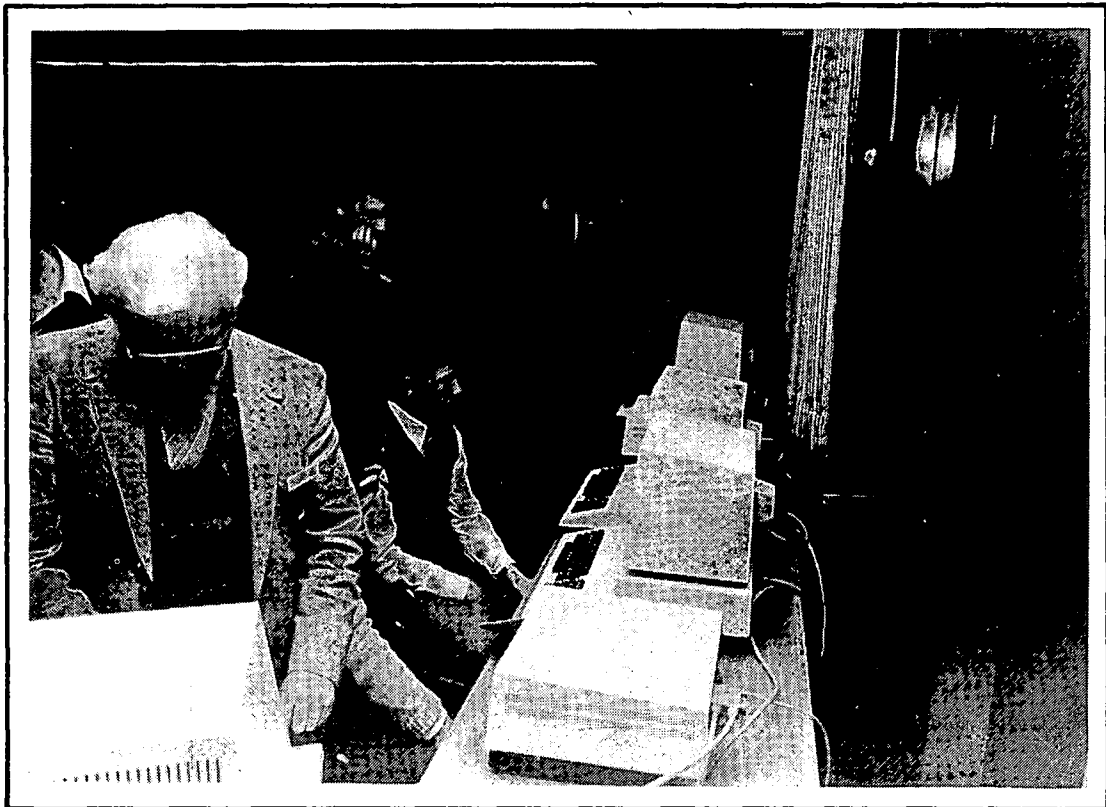
- samenvatting van de
belangrijkste discussiepunten

F.E. van 't Hul

1. Het blijkt dat veel scholen één of twee mikro's gekocht hebben of dat binnenkort gaan doen. De initiatieven liggen meestal bij wiskunde of natuurkunde. Veel aanwezigen in de werkgroep kwamen primair om informatie te krijgen. Enerzijds om te luisteren en te kijken naar wat je met een mikro kunt doen. Anderzijds om te weten te komen hoe je goed op de hoogte komt en blijft (men ziet zijn eigen beperktheid in kennis en beschikbare tijd. Men was vooral uit op praktische informatie zoals:
 - welke komputer is de beste?
 - waar moet ik op letten als in een komputer ga aanschaffen?
 - hoe kom ik aan software?
 - welke computers zijn er op de markt?
 - welke boeken zijn er bruikbaar?
 - zijn er nascholingskursussen?
 - Etc.Er is dus een behoefte aan bijscholing, nascholing en een markt om programma's te kunnen kiezen of uitwisselen.
2. Als je vanuit de onderwijsdoelstellingen van het natuurkundeonderwijs probeert aan te geven hoe je de mikro zou kunnen inzetten als extra medium moet je één fundamentele doelstelling niet vergeten: "het kijken naar de natuur zelf".
Bij simulatie e.d. zal je, ook voor de leerling, heel goed moeten aangeven waarom je de simulatie vertoont in plaats van de proef of nadat je eerst de proef in de klas hebt gedaan.
3. Iedereen ziet in dat de mikro een prachtig hulpmiddel is om leerlingen die hiaten in hun kennis vertonen bij te werken. Maar men ziet weinig mogelijkheden om dit soort onderwijsprogramma's zelf te ontwikkelen. Er is een soort

verwachting dat deze "vanzelf" (supplement bij een methode in boekvorm) op de markt komen.

4. De komputer als meetinstrument of gegevensverwerker (praktikum) in het natuurkundelokaal wordt daar het merendeel van de aanwezigen als komende realiteit aanvaard. Men is zich bewust van het feit dat het de leerling kan vervreemden van wat er gemeten of berekend moet worden. Toch was men van mening dat het verwerven van inzicht in de organisatiestructuur van het programma niet in de natuurkundeles thuishoort (tijdnood, e.d.) maar dat dat soort zaken in een nieuw vak informatica aan de orde behoren te komen.



KEUZE-ONDERWERPEN IN HET VWO: WELKE MOGELIJKHEDEN BIEDEN DE KEUZE-
ONDERWERPEN VOOR VERNIEUWING VAN HET ONDERWIJS IN DE MECHANICA.

De keuze-onderwerpen bieden de mogelijkheid om nieuwe inhouden en methodieken in het natuurkunde-onderwijs op het vwo te introduceren.

Zo is nog onlangs de lijst met keuze-onderwerpen uitgebreid met Natuurkunde en Samenleving en Natuurkunde van de Atmosferen.

Voor mechanica is er het keuze-onderwerp Statica en Rotatie in de lijst opgenomen, terwijl in het verleden pogingen zijn gedaan een keuze-onderwerp Gravitatie en Ruimtevaart van de grond te krijgen.

In de werkgroep keuze-onderwerpen zal tijdens de 'Woudschoten'-conferentie worden gediscussieerd over de vragen als:

- welke inhouden uit de natuurkunde en speciaal uit de mechanica zouden in een keuze-onderwerp moeten worden uitgewerkt.
- welke behandelingswijzen (didaktiek, werkvormen) zijn in zo'n keuze-onderwerp mogelijk.
- welke minimumeisen stellen wij aan randvoorwaarden, zoals aantal beschikbare uren, wel of niet in het examen, enz.

Mogelijk levert deze discussie voldoende materiaal op voor een uitbreiding van de lijst met keuze-onderwerpen.

subgroep 11

Inertiaalsystemen en de expansie van het heelal

+ schoolonderzoek opgave VWO

A.F. Hengeveld

1. Voorbeelden

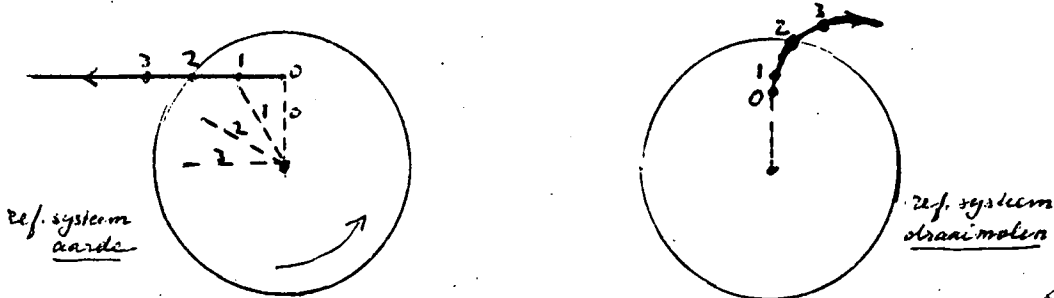
i. Vader en zoon in trein

Zoon : Huizen bewegen (referentiesysteem trein)
 Vader : Huizen staan stil (referentiesysteem aarde)

ii. Vlieg in lokaal

t.o.v. lokaal : cirkel
 t.o.v. bord dat omhooggaat : spiraal omlaag

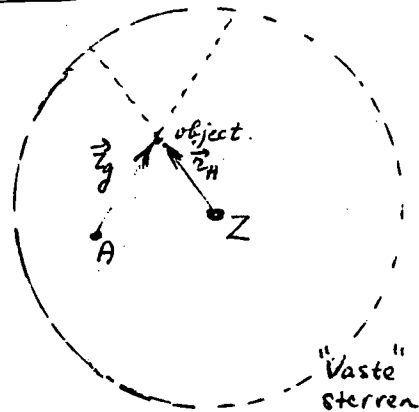
iii. Blokje op draaimolen



iv. Geocentrisch - Heliocentrisch

Geocentrisch : middelpunt aarde + "vaste" sterren
 Heliocentrisch : middelpunt zon + "vaste" sterren

Belangrijke wiskundige beperking (voor het vervolg):
 Alleen translaties en geen rotaties.



2. Formules

Zee : referentiesysteem I
 Schip : referentiesysteem II



Postulaten :

$$\begin{cases} \Delta \vec{s}_I = \Delta \vec{s}_I(II) + \Delta \vec{s}_{II} \\ \Delta t_I = \Delta t_{II} (= \Delta t) \end{cases}$$

Gevolg : $\frac{\Delta \vec{s}_I}{\Delta t} = \frac{\Delta \vec{s}_I(II)}{\Delta t} + \frac{\Delta \vec{s}_{II}}{\Delta t}$

$\langle \vec{v}_I \rangle = \langle \vec{v}_I(II) \rangle + \langle \vec{v}_{II} \rangle$

Limiet $\Delta t \rightarrow 0$: $\vec{v}_I(t) = \vec{v}_I(II(t)) + \vec{v}_{II}(t)$

Differentiëren naar t : $\vec{a}_I(t) = \vec{a}_I(II(t)) + \vec{a}_{II}(t)$

II. WETTEN MECHANICA

1. Grondwetten

1^e wet van Newton (traagheid)

$$\left. \begin{cases} \vec{R} = \vec{0} \Rightarrow \vec{a} = \vec{0} \text{ (of } \vec{v} = \vec{c}^{st}) \\ \vec{R} \neq \vec{0} \Rightarrow \vec{a} \neq \vec{0} \text{ (of } \vec{v} \neq \vec{c}^{st}) \end{cases} \right\}$$

2^e wet van Newton

$\vec{R} = m\vec{a}$
 (Einstein : $\vec{R} = \frac{d}{dt} \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$)

3^e wet van Newton (actie = - reactie)

$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \quad (\Rightarrow \quad m_2 \Delta \vec{v}_2 = -m_1 \Delta \vec{v}_1)$

2. Werkschema Mechanica

Karakter kracht

$F = -Cu$

$F = -\gamma \frac{mM}{r^2}$

$F = Q \vec{v} \cdot \vec{B}, \dots$

Relatie met beweging

$\vec{R} = m\vec{a}$

Uitspraken omtrent beweging.

Voorbeelden werkschema

i. Veerkracht; karakter:

$F = -Cu$

relatie met beweging: $F = ma$

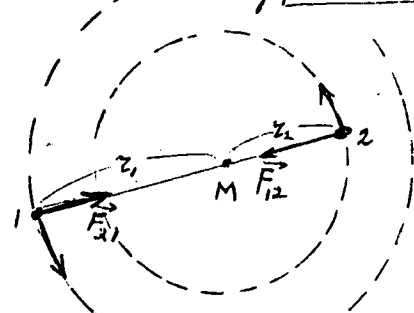
Uitspraak:

$a = -\frac{C}{m} u$

(harmonische trilling: $u = z \sin(\omega t + \phi_0) \Rightarrow v = z\omega \cos(\omega t + \phi_0) \Rightarrow a = -z\omega^2 \sin(\omega t + \phi_0)$)

vergelijken levert: $\omega = \sqrt{\frac{C}{m}}$

of $a = -\omega^2 u$



ii. Dubbelsterrek

Bekend zijn via meting: $T (= \frac{2\pi}{\omega})$, $|\vec{v}_1|$, $|\vec{v}_2|$

Gevraagd: m_1, m_2 en afstanden $\begin{cases} r_1 = |\vec{v}_1| \cdot T/2\pi \\ r_2 = |\vec{v}_2| \cdot T/2\pi \end{cases}$

Ster 1: karakter: $|\vec{F}_{21}| = \gamma \frac{m_1 m_2}{(r_1 + r_2)^2}$
relatie met cirkelbeweging: $|\vec{F}_{21}| = m_1 |\vec{a}_1| = m_1 r_1 \omega^2$

Uitspraak:

$m_2 = \frac{r_1 (r_1 + r_2)^2 \omega^2}{\gamma}$

Ster 2: Analooq:

Uitspraak:

$m_1 = \frac{r_2 (r_1 + r_2)^2 \omega^2}{\gamma}$

Gevolq: $m_1 + m_2 = \frac{(r_1 + r_2)(r_1 + r_2)^2 \omega^2}{\gamma}$

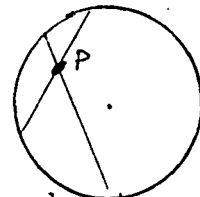
dus $m_{tot} = \frac{4\pi^2}{\gamma} \cdot \frac{(r_1 + r_2)^3}{T^2}$ (3^e wet van Kepler)

Opmerking: M is zwaartepunt, want $m_1 r_1 \omega^2 = |\vec{F}_{21}| = |\vec{F}_{12}| = m_2 r_2 \omega^2$

of $m_1 r_1 = m_2 r_2$

3. Verdere gegevens krachten

i. Holteveld: kracht op massa m in P = $\vec{0}$



ii. Potentiële energie: $U_p(r) = W_{2 \rightarrow r_0}$

(Potentiële energie = arbeid om van r naar nulpunt r_0 te komen)

$U_p(r) = \int_r^{r_0} \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_r^{r_0} -\gamma \frac{mM}{z^2} dz = \left[\frac{\gamma mM}{z} \right]_r^{r_0} = -\frac{\gamma mM}{r_0} + \frac{\gamma mM}{r}$

Nulpunt in ∞ : $r_0 = \infty$: $U_p(r) = -\frac{\gamma mM}{r}$

iii. Relatie kracht - potentiële energie

$U_p = -\text{prim. } F \text{ of } F = -\frac{dU_p}{dr}$

iv. Behoud energie:

$U_{tot} = U_k + U_p = C^{st}$

$U_{tot} = \frac{1}{2} m v^2 - \gamma \frac{mM}{r}$

III. INERTIAALSYSTEMEN

1. Voorbeelden

i. Blokje op draaimolen :

- a. Blokje los : t.o.v. aarde : $\vec{F} = \vec{0}$ en $\vec{a}_A = \vec{0}$
 t.o.v. draaimolen: $\vec{F} = \vec{0}$ en $\vec{a}_D \neq \vec{0}$
- b. Blokje vast: t.o.v. aarde : $\vec{F} \neq \vec{0}$ en $\vec{a}_A \neq \vec{0}$
 t.o.v. draaimolen: $\vec{F} \neq \vec{0}$ en $\vec{a}_D = \vec{0}$

Zowel in a. als in b. : t.o.v. draaimolen strijdig met wet van traagheid.

Definities:

Inertiaalsysteem : referentiesysteem waarin de wet van traagheid geldt.

Niet-inertiaalsysteem: referentiesysteem waarin de wet van traagheid niet geldt.

Dus : aarde is inertiaalsysteem, maar draaimolen niet-inertiaalsysteem

- ii. Trein eenparig t.o.v. aarde : alles "normaal", trein inertiaalsysteem.
Trein in bocht, optrekken of afremmen : trein niet eenparig t.o.v. aarde :
niet "normaal" : trein niet-inertiaalsysteem.

Suggestie vanuit ii :

- a. referentiesysteem eenparig } \Rightarrow referentiesysteem ook inertiaalsysteem
 t.o.v. inertiaalsysteem
- b. referentiesysteem niet eenparig } \Rightarrow referentiesysteem is niet-inertiaalsysteem
 t.o.v. inertiaalsysteem

2. Bewijs suggestie

I en R : inertiaalsysteem resp. referentiesysteem.

Dus t.o.v. I : $\vec{R} = \vec{0} \Rightarrow \vec{a}_I = \vec{0}$
 $\vec{R} \neq \vec{0} \Rightarrow \vec{a}_I \neq \vec{0}$

Verder geldt (traagheid) : $\vec{a}_I = \vec{a}_I(\vec{R}) + \vec{a}_R$

Geval a. : R eenparig t.o.v. I, dus $\vec{a}_I(\vec{R}) = \vec{0}$
 Gevolg : $\vec{a}_I = \vec{a}_R$, gevolg : $\vec{R} = \vec{0} \Rightarrow \vec{a}_R = \vec{0}$
 $\vec{R} \neq \vec{0} \Rightarrow \vec{a}_R \neq \vec{0}$

Dus als R eenparig t.o.v. I dan geldt ook in R de wet van de traagheid, dus is R een inertiaalsysteem.

Geval b. : R niet eenparig t.o.v. I dus $\vec{a}_I(\vec{R}) \neq \vec{0}$

Gevolg : $\vec{a}_I \neq \vec{a}_R$
 Gevolg : $\vec{R} = \vec{0} \Rightarrow \vec{a}_R \neq \vec{0}$

Dus als R niet eenparig t.o.v. I , dan geldt in R de wet van de traagheid niet, dus dan is R een niet-inertiaalsysteem

IV. SCHIJNKRACHTEN

1. Definitie en voorbeelden

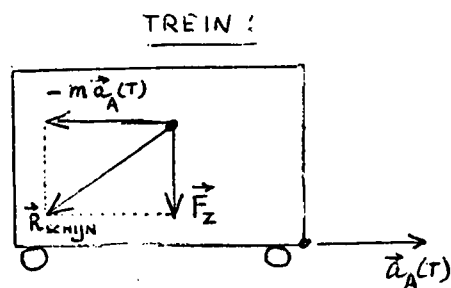
In inertiaalsysteem : $\vec{R} = m\vec{a}$

In niet-inertiaalsysteem : $\vec{R} + \text{correctie} = m\vec{a}$
 correctie = schijnkracht (def)

voorbeeld : optrekkende en remmende treinen.

Stel : I inertiaalsysteem
 S niet-inertiaalsysteem
 (dus $\vec{a}_I(s) \neq 0$)

Dan $\left. \begin{aligned} \vec{R} &= m\vec{a}_I \\ \vec{a}_I &= \vec{a}_I(s) + \vec{a}_s \end{aligned} \right\} \Rightarrow \vec{R} = m(\vec{a}_I(s) + \vec{a}_s)$
 $\vec{R} - m\vec{a}_I(s) = m\vec{a}_s$



Schijnkracht in S : correctie = $-m\vec{a}_I(s)$
 $\vec{R}_{\text{SCHIJN}} = \vec{R} - m\vec{a}_I(s)$

2. Getijdekrachten

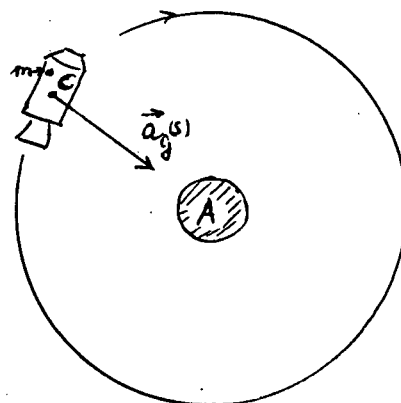
- 2 in cirkelbaan om A
- 1 en 3 dezelfde snelheid als 2
- 1 gaat te hard voor zijn cirkel
- 3 gaat te langzaam voor zijn cirkel



Later : 1 en 3 weg van 2 : "getijdekracht" vanuit 2 gezien.

i. nadere bepaling getijdekracht

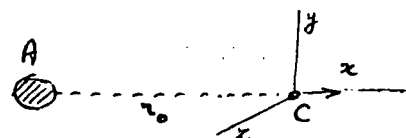
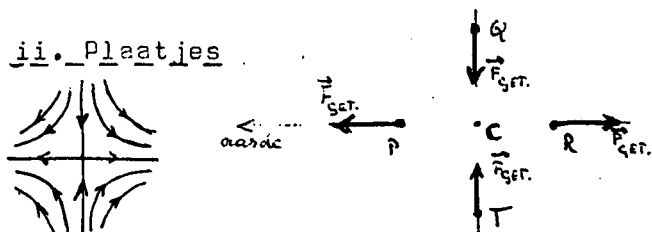
Satelliet om aarde : beweging t.o.v. geocentrisch stelsel. (geen rotatie t.o.v. "vaste" sterren)



Kracht op massa m in satelliet (vanuit niet-inertiaalsysteem satelliet) :

$\vec{R}_{\text{SCHIJN}} = \vec{F}_Z - m\vec{a}_g(s)$
 of : $\vec{F}_{\text{GETIJD}} = \vec{F}_Z - \vec{F}_Z(mC)$

ii. Plaatjes



iii. Formules

In x-richting : $F_{\text{get}} = -\gamma \frac{mM}{(R_0+x)^2} + \gamma \frac{mM}{R_0^2} =$
 $= \gamma \frac{mM}{R_0^2} \left(\frac{-1}{(1+x/R_0)^2} + \frac{1}{1^2} \right) \approx \gamma \frac{mM}{R_0^2} \left(-(-1 - 2\frac{x}{R_0}) + 1 \right) = 2\gamma \frac{mM}{R_0^2} x$

V. WAT ZIJN DE INERTIAALSISTEMEN IN DE PRAKTIJK ?

1. Aarde

Op laboratoriumschaal in goede benadering.

Geostationaire satelliet : $\vec{R} \neq \vec{0}$ (zwaartekracht) en $\vec{a} = \vec{0}$

Dus aarde niet-inertiaalsysteem.

2. Geocentrisch stelsel (midden aarde + vaste sterren)

Voor de geostationaire satelliet is dit in voldoende mate een inertiaalsysteem om de beweging te analyseren.

3. Heliocentrisch stelsel (midden zon + vaste sterren)

Voor voorspelling planeetbeweging neemt men aan dat dit inertiaalsysteem is. Bijvoorbeeld :

Karakter kracht

$$|\vec{F}| = \gamma \frac{mM}{r^2}$$

Relatie cirkelbeweging

$$|\vec{F}| = m|\vec{a}| = m\omega^2 r$$

$\vec{F} = m\vec{a}$ Huygens



Uitspraak:

$$r^3 \omega^2 = \gamma M$$

$$\text{of } \frac{r^3}{T^2} = \frac{\gamma M}{4\pi^2} \quad (3^e \text{ Kepler})$$

Hier is gebruikt $\vec{F} = m\vec{a}$, dus inertiaalsysteem.

Gevolg :

Het geocentrisch stelsel is een niet-inertiaalsysteem, want het is versneld t.o.v. het inertiaalsysteem heliocentrisch stelsel. Het geocentrisch stelsel is dus in benadering een inertiaalsysteem.

4. "Galactisch" stelsel

Zon + "vaste sterren" draaien om kern melkwegstelsel.

Deze rotatie is t.o.v. het stelsel middelpunt galaxie + verre galaxieën : "Galactisch" stelsel.

Dit stelsel is volgens de theorie van Oort een inertiaalsysteem.

Dit betekent dat het heliocentrisch stelsel slechts bij benadering een inertiaalsysteem is.

5. Stelsel voor clusters, enz.

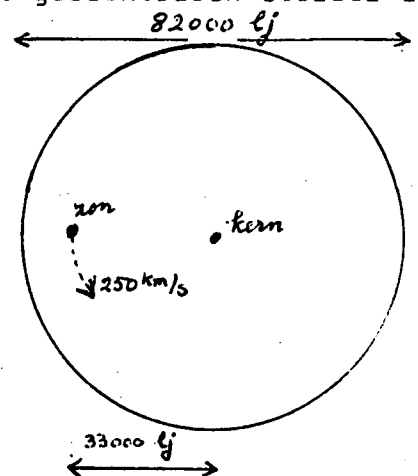
Conclusie :

Hoe dieper in het heelal de achtergrond, hoe beter het inertiaalsysteem.

Dit proces breekt echter af, zie volgend hoofdstuk.

Vragen

1. Wat is het inertiaalsysteem van de dubbelsterren ? Hoe is dit systeem binnen de hiërarchie geplaatst ?
2. Het aarde-maan stelsel is het stelsel zwaartepunt aarde-maan + "vaste sterren". Bespreek de relatie met het geocentrische en het heliocentrische stelsel.



VI. EXPANSIEWET VAN HUBBLE

1. Roodverschuiving

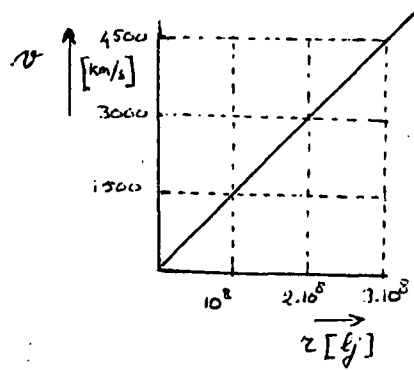
Hoe verder een galaxie of cluster, hoe groter de roodverschuiving.

Snelheid bepalen met : $\frac{|\vec{v}|}{c} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$

Hubble-wet :

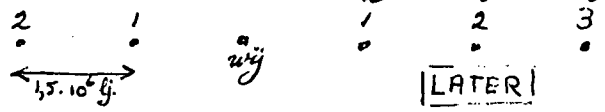
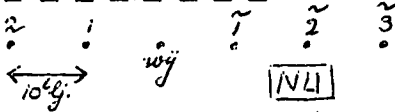
$$\vec{v} = H\vec{z}$$

H: Hubble-constante



2. Kosmologisch principe

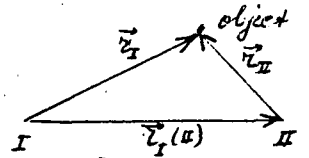
Zijn wij uniek?



Plaatjes laten zien : Hubble geldt voor ons, maar ook bijvoorbeeld voor 2. Wij staan dus weliswaar in het centrum van de roodverschuiving, maar ook andere galaxieën zijn wat hun betreft centrum. Wij zijn dus geen uniek centrum.

Formeel

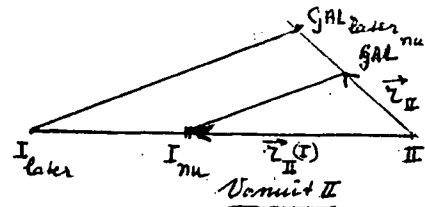
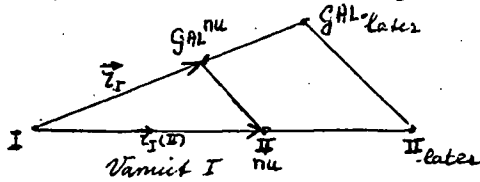
Er geldt : $\vec{v}_I = \vec{v}_I^{(II)} + \vec{v}_{II}$ of $\vec{v}_{II} = \vec{v}_I - \vec{v}_I^{(II)}$
 $\vec{v}_I = H\vec{z}_I^{(II)} + \vec{v}_{II}$ of $\vec{v}_{II} = H\vec{z}_I - \vec{v}_I^{(II)}$



Hubble vanuit I :

$\vec{v}_I = H\vec{z}_I$
 $\vec{v}_I^{(II)} = H\vec{z}_I^{(II)}$ resultaat $\vec{v}_{II} = H\vec{z}_{II}$

Dus Hubble geldt ook vanuit II gezien !



Kosmologisch principe :

Op grote schaal (vanaf 10^7 lj) ziet het heelal in elk punt er hetzelfde uit. Preciezer :

Er is isotropie (rotatieinvariantie), d.w.z. vanuit het punt is het heelal in alle richtingen hetzelfde.

Er is homogeniteit (translatieinvariantie), d.w.z. als men van het ene punt naar het andere punt verschuift blijft het heelal hetzelfde eruit zien.

Alleen isotropie is voor de waarneming toegankelijk. (vanuit ons gezien). Neemt men echter aan dat ook vanuit een tweede punt isotropie geldt, dan geldt het kosmologisch principe :

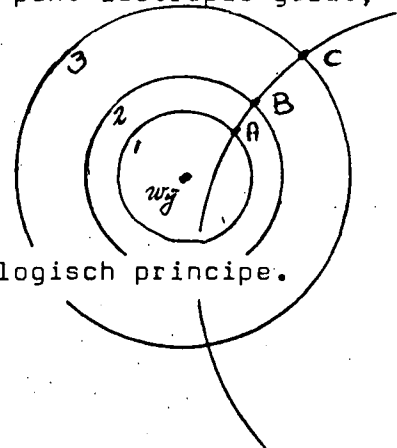
Volgens ons :

- Langs 1 alles hetzelfde,
- langs 2 alles hetzelfde,
- langs 3 alles hetzelfde.

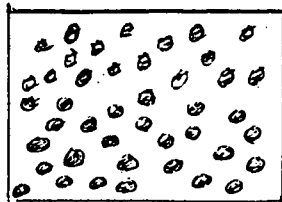
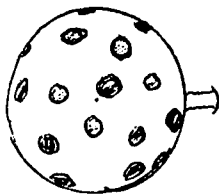
Volgens tweede punt :

- A, B en C hetzelfde

Hubble is dus in overeenstemming met het kosmologisch principe.



Tweede punt



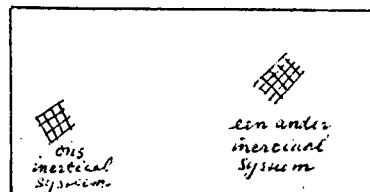
Galaxieën :
Plakkers op ballon,
die wordt opgeblazen

Galaxieën :
Plakkers op rubbermat, die
alzijdig gelijkmatig wordt uitgerakt

Meetkundig zijn beide analogieën in overeenstemming met het kosmologisch principe.

3. Een paradox / Lokaliteit

Vanuit ons gezien vinden we een steeds beter inertiaal-systeem naarmate we dieper in het heelal gaan. Ook vanuit een andere galaxie gezien, op bijv. 10^8 lj, is er een steeds beter inertiaalsysteem steeds dieper in het heelal.



De paradox

Vanwege de gravitatie is de andere galaxie in een vertraagde beweging t.o.v. ons. D.w.z. er zijn twee inertiaalsystemen die niet eenparig t.o.v. elkaar bewegen. Vanwege het kosmologisch principe zijn beide inertiaalsystemen even goed. Volgens hoofdstuk III echter moeten inertiaalsystemen eenparig t.o.v. elkaar bewegen.

Oplossing van de paradox

Het steeds dieper in het heelal vinden van een steeds beter inertiaalsysteem houdt een keer op, nl. als de plaatselijke beweging van de achtergrond in het niet valt t.o.v. de expansiewet van het heelal.

Inertiaalsystemen zijn derhalve lokaal, o.w.z. gelden alleen maar voor een gedeelte van het heelal.

De stellingen van hoofdstuk III gelden alleen voor inertiaalsystemen, die door elkaar heen schuiven en dus in hetzelfde deel van het heelal zijn.

De bovengenoemde inertiaalsystemen zijn ver van elkaar verwijderd en dan gelden de stellingen van hoofdstuk III niet.

Kort gesteld :

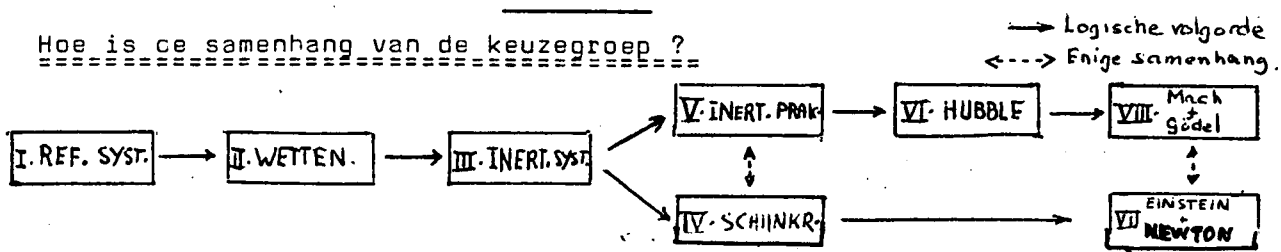
Lokaal geldt dat inertiaalsystemen eenparig t.o.v. elkaar bewegen.

Globaal geldt dat inertiaalsystemen niet-eenparig t.o.v. elkaar behoeven te bewegen. (Zij bewegen waarschijnlijk vertraagd t.o.v. elkaar)

Vraag

Volgens de relativiteitstheorie gaat er niets sneller dan het licht. Toch is het mogelijk dat er zeer verre galaxieën zijn die wij (nu nog) niet kunnen waarnemen. Men zegt wel dat deze galaxieën sneller gaan dan het licht, hetgeen een mogelijke interpretatie is van het verschijnsel. Verklaar dat er niets sneller kan gaan dan het licht en dat de genoemde galaxieën toch sneller dan het licht zich van ons verwijderen. (dit punt is verkeerd gesteld in de 12^e les van de cursus Sterrenkunde van Teleac)

Hoe is de samenhang van de keuzegroep ?



OPGAVE II. Expansie van het heelal.

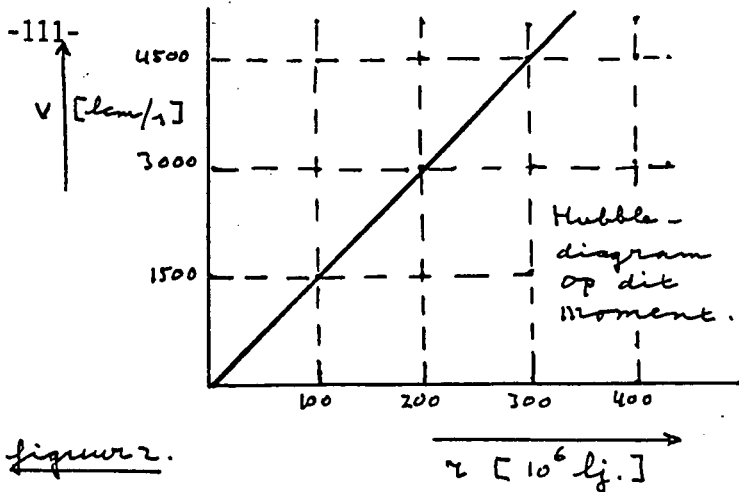
Sinds de publicatie van Edwin Hubble in 1929 neemt men aan dat het heelal expandeert.

Hubble heeft gevonden dat naar mate een galaxie verder van ons is verwijderd deze op dit moment van ons weggaat volgens de relatie:

$$v = H \cdot r$$

Deze relatie wordt de recessiewet van Hubble genoemd. Hierin zijn:

v : recessiesnelheid van de galaxie,
r : afstand van de galaxie tot ons,
H : Hubble-constante.



figuur 2.

Omdat de afstand r van een galaxie tot ons moeilijk is te bepalen is de Hubble-constante ook niet erg nauwkeurig bepaald.

- a) 1. Bepaal de huidige waarde van H met behulp van het gegeven Hubble-diagram (fig. 2).
2. Toon aan dat voor H geldt op dit moment:

$$\frac{1}{H} = 6,3 \cdot 10^{17} \text{ s} = 2,0 \cdot 10^{10} \text{ jr} \quad (1 \text{ lj} = 1 \text{ lichtjaar} = 9,46 \cdot 10^{15} \text{ m}; 1 \text{ jr} = 3,16 \cdot 10^7 \text{ s}).$$

We veronderstellen voorlopig dat de galaxieën met dezelfde recessiesnelheid als nu blijven bewegen, dus dat zij geen versnelling of vertraging ondervinden.

- b) 1. Toon aan dat een galaxie die nu op $1,0 \cdot 10^8$ lj van ons is verwijderd volgens deze gegevens over $2,0 \cdot 10^{10}$ jr op $2,0 \cdot 10^8$ lj van ons zal zijn.
2. Bereken dat alle galaxieën over $2,0 \cdot 10^{10}$ jr twee keer zo ver van ons verwijderd zullen zijn.
3. Teken het Hubble-diagram op dat tijdstip en bepaal de bijbehorende Hubble-constante.
- c). Verklaar dat $2,0 \cdot 10^{10}$ jr geleden alle galaxieën bij elkaar waren.
- d). Als astronomen foto's van ver verwijderde galaxieën bestuderen zegt men dat zij "terugkijken in de tijd". Verklaar wat hiermee bedoeld wordt.

De aanname dat de recessiesnelheid constant blijft is een zeer onwaarschijnlijke, omdat vanwege de gravitatie de galaxieën elkaar onderling aantrekken.

- e). Volgens c). is de leeftijd van het heelal $2,0 \cdot 10^{10}$ jr. Verklaar dat de werkelijke leeftijd hoogst waarschijnlijk kleiner is.

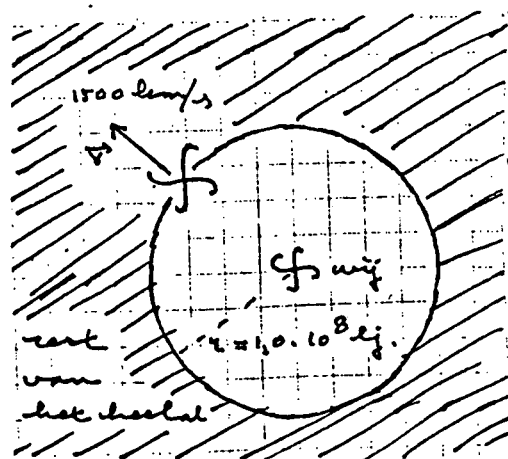
Een galaxie op afstand r van ons verwijderd ondervindt alleen de aantrekking van de massa binnen de denkbeeldige bol met straal r waarvan wij het middelpunt zijn en waarbij de galaxie op de rand ervan zit (zie fig. 3). Hierbij moeten we aannemen dat de dichtheid van de materie overal hetzelfde is in het heelal.

Een galaxie op $r = 1,0 \cdot 10^8$ lj van ons ondervindt dus de gravitatie van een bol met straal $1,0 \cdot 10^8$ lj. De rest van het heelal draagt nul bij tot de gravitatie.

Als de huidige dichtheid van het heelal

$\rho = 9,0 \cdot 10^{-27} \text{ kg m}^{-3}$ wordt genomen, dan ondervindt de galaxie de zwaartekracht van een massa $M = \frac{4\pi}{3} \cdot r^3 \cdot \rho =$

$$= \frac{4\pi}{3} \cdot (9,46 \cdot 10^{15} \cdot 10^8)^3 \cdot 9,0 \cdot 10^{-27} = 3,2 \cdot 10^{46} \text{ kg}.$$



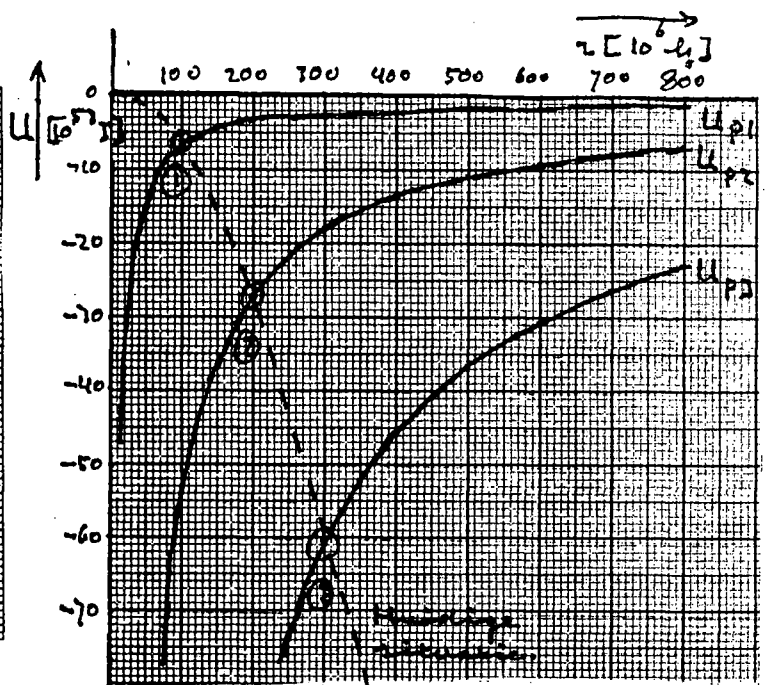
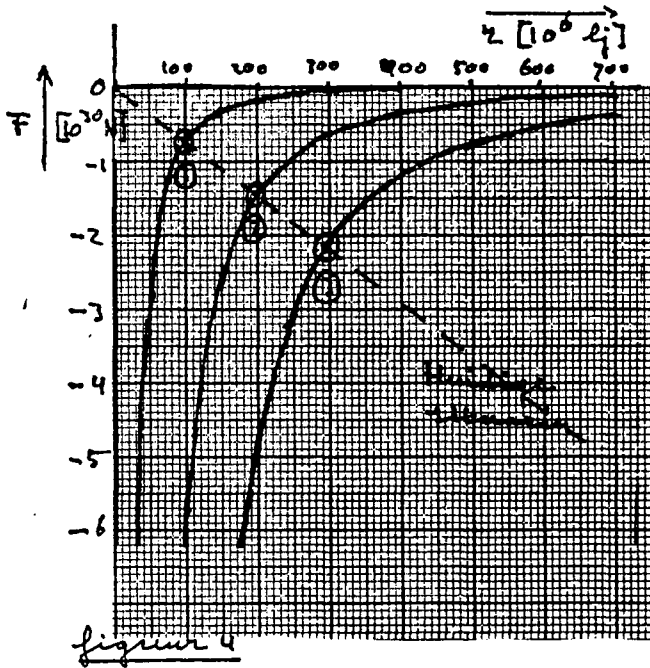
- f) 1. Bereken dat de galaxie niet door een dichtere bij ons gelegen galaxie kan worden ingehaald.
2. Verklaar dat de gegeven galaxie gedurende de evolutie van het heelal altijd door dezelfde massa van $3,2 \cdot 10^{46} \text{ kg}$ wordt aangetrokken.

Een typische galaxie heeft een massa van $m_{\text{gal}} = 3,0 \cdot 10^{41} \text{ kg}$.

- g) 1. Toon aan dat zo'n galaxie op $1,0 \cdot 10^8$ lj van ons een zwaartekracht ondervindt van $F_z = -7,1 \cdot 10^{29} \text{ N}$

2. Wat is de betekenis van het -teken?

Stel galaxie ① is nu op $1,0 \cdot 10^8$ lj van ons verwijderd, galaxie ② op $2,0 \cdot 10^8$ lj en galaxie ③ nu op $3,0 \cdot 10^8$ lj. Neem aan dat de galaxieën ieder een massa hebben van $m_{gal} = 3,0 \cdot 10^{41}$ kg. Onderstaande grafieken geven de kracht en de potentiële energie van deze kracht op elke galaxie als functie van de afstand r tot ons. Het rechter diagram is ook vergroot gegeven op het antwoordblad.



- h). Verklaar waarom de grootte van de kracht op galaxie ① in de loop van de tijd afneemt, naarmate galaxie ① verder van ons is verwijderd.
- i). 1. Toon aan dat galaxie ①, op $1,0 \cdot 10^8$ lj van ons, nu inderdaad een potentiële energie heeft van $U_{p1} = -6,8 \cdot 10^{53}$ J (nulpunt U_p in het oneindige).
2. Geef aan welk verband er bestaat tussen het diagram van de kracht op galaxie ① en het diagram van de potentiële energie van galaxie ①.

De kinetische energie van galaxie ① op dit moment is

$$U_{k1} = \frac{1}{2} m_{gal} \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 3,0 \cdot 10^{41} \cdot (15 \cdot 10^5)^2 = 3,4 \cdot 10^{53} \text{ J.}$$

- j). 1. Bepaal de totale energie van galaxie ① en teken deze energie in op het antwoordblad.
2. Bepaal op welke afstand van ons galaxie ① tot stilstand komt.

Tot nu toe hebben we alleen galaxie ① in de loop van de tijd bekeken. We gaan nu vergelijkingen maken met de andere twee galaxieën ② en ③ op één tijdstip.

- k). Verklaar waarom op dit moment galaxie ② een twee keer zo grote kracht, en galaxie ③ een drie keer zo grote kracht ondervindt als galaxie ①.

De kinetische energieën van galaxie ② en ③ op dit moment zijn resp.:

$$U_{k2} = 13,5 \cdot 10^{53} \text{ J en } U_{k3} = 30,4 \cdot 10^{53} \text{ J.}$$

- l). 1. Beredeneer dat galaxie ② inderdaad een 4 keer en galaxie ③ een 9 keer zo grote kinetische energie heeft als galaxie ① op dit moment.
2. Teken de totale energieën van galaxieën ② en ③ in het diagram van het antwoordblad en bepaal op welke afstand van ons zij tot stilstand komen.
3. Wat is de verhouding van de maximale afstanden tot ons? (Vergelijk ①, ② en ③.)
- m). Beredeneer met behulp van het antwoord op vraag l). 3. dat alle galaxieën gelijktijdig tot stilstand komen.

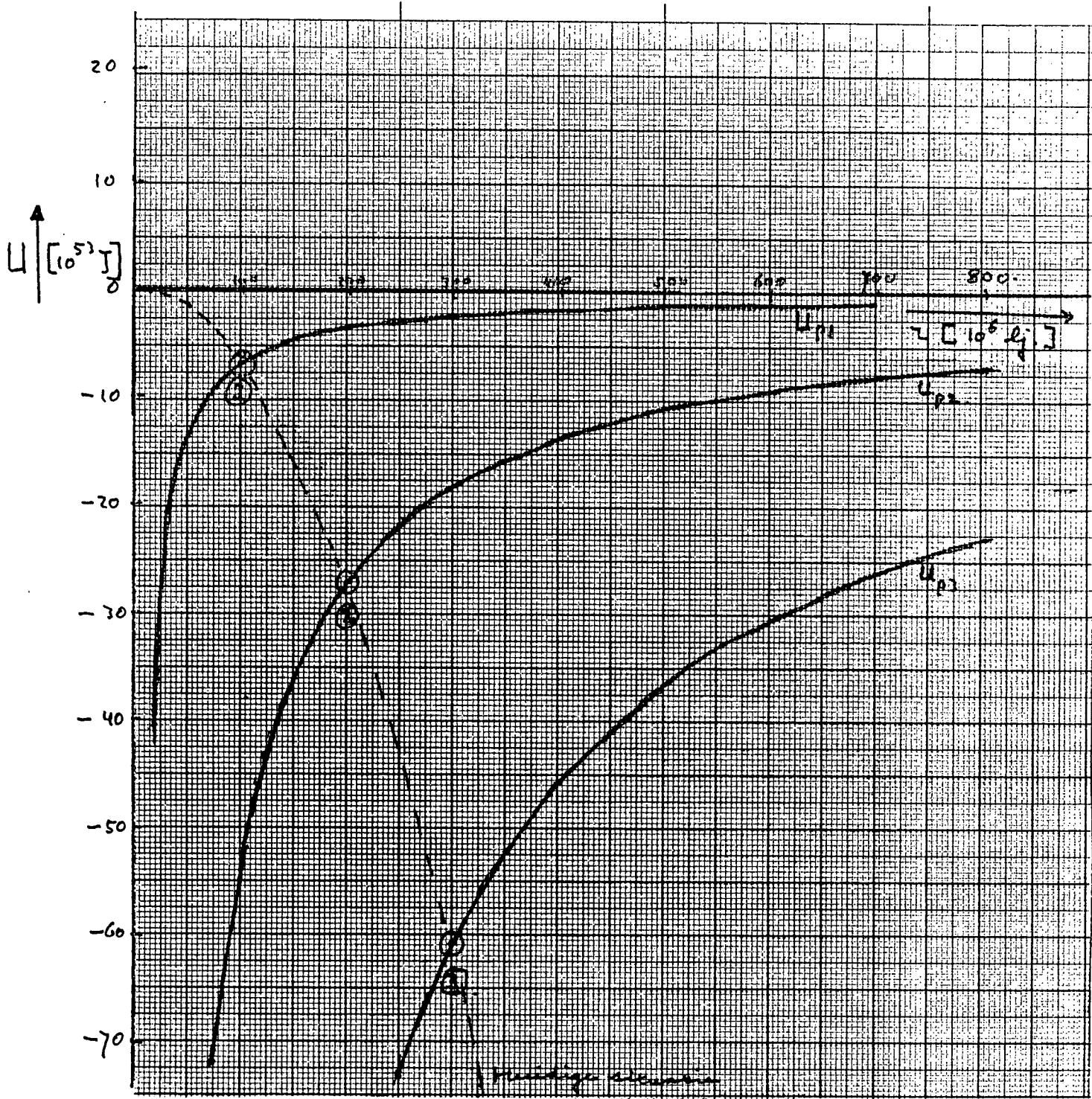
Volgens de vragen j). 2., l). 2. en m). houdt de expansie van het heelal een keer op. Dit werd beredeneerd vanuit de aanname dat de huidige materiedichtheid van het heelal gelijk is aan $\rho = 9,0 \cdot 10^{-27} \text{ kg m}^{-3}$. Dit is echter wel erg hoog. Reëler is het om te stellen dat de huidige dichtheid 20 keer kleiner is, dus dat geldt:

$$\rho = 4,5 \cdot 10^{-28} \text{ kg m}^{-3}.$$

Antwoordblad
bij opgave 2

Naam:

Examennr.:



SUBGROEP: **12**

K.Hellingman

NIET-CENTRALE ELASTISCHE BOTSINGEN (filmanalyse)

Twee stalen kogels van gelijke massa worden op gelijke hoogte gehangen aan twee lange draden die vlak naast elkaar aan het plafond zijn bevestigd. Door één kogel een uitwijking te geven kunnen we een niet-centrale botsing veroorzaken, die van boven af gefilmd kan worden.

Dit is, verscheidene malen herhaald, uitgevoerd door twee leerlingen uit 5 Atheneum, RSG-Harderwijk, met een eenvoudige camera (Canon 318 M-zoom, 18 beeldjes/s).

Probleem voor de werkgroep: analyse van de film door vertraagde projectie en beeld-voor-beeldprojectie. Is de hoek tussen de kogelbanen na de botsing steeds 90° ?

Welke suggesties voor verbetering van de proef volgen er uit de analyse ?

subgroep 13 :

Wanneer en hoe vertel ik het mijn leerlingen?

G.P. Beukema

1. Inleiding

Het is altijd weer een moeilijk punt of je aan het begin van een praktikum de leerlingen al zult vertellen wat er uit een proef zal moeten komen. Je hebt het gevoel dat als je dat doet de lol er af is. Het blijkt dat bij sommige mechanika-proeven de lol er helemaal niet af is, integendeel er wordt met veel meer inspanning naar gestreefd het "juiste" antwoord te krijgen. Bovendien geeft het sommigen extra voldoening als ze merken dat ze er niet zo ver naast zitten.

Waarschijnlijk geldt dit niet voor alle experimenten en misschien ook wel niet voor elke leerling. Maar de vraag blijft wanneer je wel wat voor-informatie moet geven en wanneer niet. Om hier een antwoord op te (kunnen) geven is het goed "in de huid van een leerling te kruipen." Aan de hand van een viertal proeven, elk in twee-voud opgesteld, is getracht een antwoord te vinden op bovengenoemde vraag.

2. Experimenten

Er werd in groepjes van twee een half uur geëxperimenteerd. De ene groep kreeg voor-informatie de andere niet. Hierna werd ervaring uitgewisseld.

De experimenten (beschrijving + uitwerking) zijn gehaald uit "Natuurkunde..... doen!" deel 3 HV:

1. Rijbaan met kar en tijdtikker (proef 6.3, uitwerking op blz. 37 en 38 van het werkboek 3 HV).

M.b.v. een veerbalans kon op een kar een ongecompenseerde konstante kracht worden uitgeoefend. Van de tikkerband kan een v.t.-diagram gemaakt worden waarmee de versnelling is te bepalen. De voor-informatie bestond uit het medelen van de versnelling voor verschillende krachten.

2. Traagheidsbalans (proef 5.3, uitwerking op blz. 28 en 29 van het werkboek).

De trillingstijd van een wagentje dat vast zat aan twee gespannen veren werd bepaald voor diverse (bekende) massa's. Vervolgens werd op een wagentje een statiefvoet met onbekende massa gelegd en weer de trillingstijd bepaald. De voor-informatie bestond uit het vermelden van de massa van de statiefvoet (+ dat de grafiek van T tegen m geen rechte lijn is, maar dat was in dit gezelschap een overbodige mededeling!).

3. Potentiële energie van een ventielslang (variatie op proef 8.5, uitwerking op blz. 69 van het werkboek). De lengte van de ventielslang werd opgemeten voor verschillende belastingen. De voor-informatie bestond uit de mededeling dat F uitgezet tegen u een S-kromme opleverde en dat na belasting de beginlengte was veranderd.

4. Cirkelbeweging (proef 13.3, uitwerking op blz. 110 van het werkboek).

Een massa aan een touwtje, bevestigd aan een veerbalans, wordt aan het slingeren gebracht en zal bij voldoende hoog loslaten in het onderste punt met een lucifersdoosje raken. De voor-informatie bestond uit het vermelden van de juiste formules en wat hier als centripetale kracht aangemerkt kon worden. Ook werd tegen de ene groep gezegd dat de uitrekking van de veer van de veerbalans een toename van de potentiële energie van de veer tot gevolg had en dat ze moesten nagaan of dit van invloed was op hun berekeningen.

3. Nabespreking

Proef 1: Het bleek niet zo eenvoudig te zijn de kracht het hele stuk konstant te houden, daar was wat oefening voor nodig, door tijdgebrek kwam het daar niet van. Eén groep met voor-informatie vond bij verschillende krachten dezelfde versnelling. De metingen werden toen overgedaan, met beter resultaat. Er was wel wat wrevel over het mislukken, vooral omdat men niet wist wat de oorzaak was. Deze groep was hier liever op doorgedaan, maar omdat men de resultaten van tevoren wist voelde men zich gedwongen deze er dan ook uit te krijgen (een soort erezaak!).

De groep met voorinformatie vond het prettig dat het resultaat overeenkwam met de theorie.

Een groep van "niet-weters" kreeg bij één meting een ronde grafiek. Ook als zij van te voren hadden geweten wat er uit moest komen waren ze doorgestaan tot het klopte, desnoods met "smokkelen". Men was uiteindelijk wel van mening dat deze proef nog ingewikkeld was en het voor leerlingen stimulerend kan werken van te voren te weten wat er uit moet komen. Leerlingen komen anders vaak niet tot een (goed) einde, laat staan tot een konklusie.

Proef 2: De groep "niet-weters" ging eerst overleggen: invloed reaktietijd, hoe teken je de grafiek?

De metingen gingen vrij vlot. Het werd niet als hinderlijk ervaren dat men niet wist wat er uit moest komen, integendeel, de meetmethode, het met elkaar discussiëren over de te volgen procedure werd er spannender door.

De groep "weters" kwam snel tot een resultaat dat (helaas, vonden ze) te veel afweek van de opgegeven waarde. Toen begon het pas goed!

Metingen werden herhaald, invloed reaktietijd werd nagegaan, de partners wisselden van plaats, het veld werd er helaas niet veel beter van, kortom men was niet zo gelukkig!

Proef 3: De groep "niet-weters" is het langst bezig geweest. Men kwam steeds weer voor verrassingen te staan: "Wat is dit een mooie proef!" "We meten nog steeds." (bij konstante belasting bleek de ventielslang per minuut ongeveer 1 mm te groeien, hoe lang gaat dat door?)

De groep "weters" was snel klaar en liet het daarbij. Pas toen de "leraar" kwam zeggen dat de reproduceerbaarheid van deze proef te wensen overliet ging men weer aan het werk.

Proef 4: De mededeling vooraf bracht eerder verwarring dan licht in de zaak. Bij deze proef kwam duidelijk naar voren dat iedereen al een fysieke opleiding achter de rug had. Er waren niet zo veel geheimen. Het knappe van deze proef is dat je rechtstreeks de extra kracht kunt meten die voor (het stukje) de cirkelbeweging verantwoordelijk is. Toch zitten er nog al wat haken en ogen aan de proef die het ook voor goede leerlingen nog interessanter maken.

4. Konklusies

Het is niet zo eenvoudig enkele simpele konklusies te trekken. Toch enkele opmerkingen, waar anderen misschien iets aan hebben of mee verder kunnen:

- Het is zinvol met deze vragen bezig te zijn.
- Het is een goede zaak bij ingewikkelde proeven vooraf informatie te geven over het resultaat, opdat leerlingen niet vast lopen. De leraar kan het nog van het type leerling laten afhangen hoeveel informatie hij vooraf geeft. De leraar zal zijn leerlingen dus goed moeten kennen!
- Er zijn experimenten, waarbij de weg belangrijker is dan het resultaat, zelfs het vinden van de goede weg hoort erbij. Dan moet je geen voor-informatie geven (voorbeeld: de ventielslang).

subgroep 14:

Mechanika - methoden

K.W. Walstra

We praten over en naar aanleiding van een 'mechanika methode' zoals die door mij in de loop van jaren is geschreven. Iedere deelnemer heeft een korte, schriftelijke omschrijving van de omstandigheden waaronder onze sektie werkt, een verzameling opmerkingen over de achtergronden en het functioneren van de methode en een hoofdstuk (cirkelbewegingen) als voorbeeld.

Het is gebleken dat leerlingen van een vierde klas vwo de hele mechanika zelfstandig, binnen de lessen kunnen volgen. De havo leerlingen vragen soms om enige klassikale begeleiding.

Het stencil 'mechanika' ontstond omdat (o.a.):

- . er een betere integratie van praktikum, theorie en opgaven gewenst was; dit omdat we te maken hadden (hebben) met beperkende randvoorwaarden (b.v. beperkte ruimte), de organisatie moet mogelijk zijn, en omdat we vinden dat leerlingen met ongeveer dezelfde instelling praktikum, theorie en opgaven dienen te doen.
- . we de indruk hebben, dat we dit met mechanika kunnen bereiken: het is een vak dat gedaan moet worden, er is weinig pure kennis, informatie.
- . we zelf wilden experimenteren met andere dan klassikale lesvormen.

In de groepsdiskussies komt de moeilijkheid aan de orde van het kiezen van het niveau (de stof, de proeven, voorbeelden, enz.) binnen de examenstof. De indruk bestaat dat er ook met het oog op de examens van nu genoeg te spelen is - waarschijnlijk leiden verschillende methoden tot het gewenste resultaat. Het is echter de vraag wie de methode kiest, en naar aanleiding waarvan. Misschien is het wel zo, dat methoden bij leraren onsympathieker overkomen als, schijnbaar, lesstof en lesvorm strakker vast liggen, een reden te meer om zelf aan het werk te gaan.

Bovendien, een leerling zou ook best mogen kiezen uit bijvoorbeeld een methode die 'erg experimenteel' is of ééntje die uitgaat van een 'theoretisch geraamte'. Welke autoriteit stelt vast wat het beste is ?

(Het gaat om de bovenbouw, waar zeker theoretisch-gerichte kinderen zijn). Een methode, waarbij alles op twee manieren wordt behandeld heeft niet alleen het voordeel dat er herhaald kan worden (is daar tijd voor, moet dat, in de bovenbouw ?), maar biedt dat voordeel, waarbij leerling en/of leraar - per onderwerp - kunnen kiezen. (Bij mijn stencil betekent 'herhalen' meer: repeteren).

De discussie gaat vervolgens over de rol van leraren bij methoden die veel zelfwerkzaamheid (bijna geen huiswerk) vragen. En over de verantwoordelijkheid die de leraar en, vooral, de leerling heeft. Kan elke leerling het aan ? Of is het juist de rol van de leraar omdat, door in de klas rond te lopen en met leerlingen te praten, te stimuleren !

Het blijkt te lukken, als de leerstof niet te abstrakt is, te grote stappen niet voorkomen en als het allemaal niet te lang duurt. (Vandaar het vooral niet te lage tempo !)

Een leraar dient zo goed mogelijk na te gaan of kwaliteit van het werk van een leerling het wel toelaat, dat deze aan 'extra stof' bezig is. Als dit niet zo is, wordt ook vaak de extra stof slecht verwerkt en is er veel tijd en moeite (en interesse) verloren. Het zou aanbeveling verdienen om de beschikking te hebben over individuele, diagnostische toetsen. Waarschijnlijk kan een computer hier goed functioneren.

Er wordt gesteld dat het twijfelachtig is, dat er inderdaad zo weinig door 'het veld' gedaan wordt, als wel wordt gesteld.

Wellicht is er veel meer behoefte aan praktisch-gerichte begeleiding en coördinatie (zoals deze 'Woudschoten'konferentie). Vele zaken zouden minder 'moeten', meer zou er moeten kunnen. Een zekere vermenging van onderwijsdeskundigen (didaktici) en leraren zou aan te bevelen zijn !

Uit deze subgroep zijn enkele goede contacten voortgekomen.

subgroep 15

Natuurkunde in 4 vwo:

Kiezen en gekozen hebben

P.J. Wipoo

De hierna volgende informatie is als volgt onderverdeeld:

1. De voor-informatie, waarmee de deelnemers werden "gelokt".
2. Een globale indruk van de rondvraag vooraf (verwachtingen van de deelnemers, wat trok aan uit de voor-informatie).
3. Het verhaal van de meester.
4. Het uitgedeelde gespreksmateriaal.
5. Opmerkingen achteraf.

1. De voorinformatie, waarmee de deelnemers werden gelokt.

De vierde klas op het v.w.o. is de klas van de keuzes en van de beslissingen. Het is geen onderbouw-klas meer, maar ook nog geen klas met examenpakket. Voor veel leerlingen vaak de klas van de waarheid: hier moet je het v.w.o. "waarmaken". Helaas is het nogal eens eindstation. Kortom, een klas met een speciale aanpak. Het onderwijs (in natuurkunde) moet voldoen aan deze eisen:

- Het moet de leerlingen uitnodigen zich goed te verdiepen in de aangeboden onderwerpen, het moet "boeiend" zijn.
- Er moet geen beroep gedaan worden op die vaardigheden die alleen van belang zijn voor leerlingen die examen in natuurkunde gaan doen.
- De leerlingen moeten wel een goede indruk krijgen van de aard en het niveau van de lessen in 5 en 6.
- Er moet zoveel stof behandeld worden, dat men in 5 en 6 niet in tijdnood komt. Het is echter niet nodig - en in strijd met de voorgaande wensen - om in 4v.w.o. te werken volgens het examenprogramma.

Na jaren zoeken, denken, bekijken, praten en zelf eens wat schrijven, Woudschoten-konferenties bezoeken, enz. is gekozen voor een cursus met het boek van Jardine (deel 3HV, beginnend met mechanika).

Sterke pluspunten: experimentele opbouw met spullen als tijdtickers, stroboscoop-foto's, enz., formele begrippen blijken lang concreet: veel diagrammen, weinig

wiskundige formules en "afleidingen", historisch perspectief met wetenswaardigheden en anekdotes. Kortom een boeiende didaktische opbouw. Minpunten: als leerboek chaotisch door de plakboek-layout, programma afwijkend van de "normale" mechanica, taalgebruik niet altijd begrijpelijk. Dat laatste betekent werk aan de winkel voor de leraren: die moeten hun leerdoelen, leerstofinhouden en proefwerkopgaven met zorg opstellen.

2. Een globale indruk van de rondvraag vooraf.

Na een korte uiteenzetting over de mogelijke manieren, waarop in de subgroep kon worden gewerkt, werd eerst de belangstelling van de deelnemers gepeild.

Erg favoriet waren:

- De overgang van klas 3 naar klas 4: klas 3 leuk, kwalitatief, klas 4 veel moeilijker, wiskundiger, en dus.....
- Ervaringen met het boek "Natuurkunde.....doen" van J. Jardine.
- Differentiatie binnen klas 4: A/B-keuze, welk "niveau"?
- Eigen ervaringen van de gespreksleider.

Behalve papier-materiaal (bestaande uit proefwerk- en toetsvragen) was een illustratieproef met twee karretjes genomen. Verder waren enige 8mm-filmpjes aanwezig met voorbeelden van mechanikaproeven.

In de eerste groep werd hier wel aan toegekomen, in de tweede groep niet.

3. Het verhaal van de meester.

Een goed begin is het halve werk. Daarom is het belangrijk om bij het begin van de mechanica de leerlingen niet direkt te frustreren. Bij gebruik van een traditioneel boek is dat onvermijdelijk. Als je begint met "onnauwkeurigheden", "plaatsfuncties" - hoe goed dat ook wordt uitgelegd - dan verliest het grootste deel van de leerlingen het plezier in de natuurkunde. En omdat dat plezier een onmisbare faktor is voor de juiste aandacht als er ècht iets aan natuurkunde wordt gedaan, moet het dus anders. Het boek van Jardine begint met een hoofdstuk "TIJD" waarin dit onderwerp thematisch wordt besproken. De praktikum-instrumenten (stopwatch, stroboscoop, tijdtikker) worden direkt gebruikt. Daarna volgen drie hoofdstukken kinetica om uit te komen bij een goed gevoel van het begrip "versnelling". De leerling verstikt hierbij niet in een veelheid van soorten diagrammen en formules. De stippenband uit de tijdtikker wordt in stroken geknipt van "1 seconde". De stroken plakt men naast elkaar op roosterpapier, zodat een v-t-diagram ontstaan. Hieruit wordt de versnelling bepaald. In het hele verhaal blijft met dicht bij de definitie (snelheidsverandering gedeeld door tijdsduur) zodat de leerling zich steeds bewust kan blijven wat er wordt bepaald. We hebben

genoeg ervaringen van leerlingen die wel de versnelling kunnen uitrekenen, maar tevens antwoorden dat de versnelling altijd 0 is als het voorwerp (nog) stil staat! Toch gebruikt het boek van Jardine ook lastige wiskunde, als is het meer meetkunde dan algebra. Wie de leerlingen "gewoon" aan hoofdstuk 2 laat werken, staat even later voor het bord de cosinusregel uit te leggen. De leraar moet dus goed weten wat er wel of niet gedaan moet worden.

Het is overigens niet een kwestie van "moeilijke dingen overslaan". Voor de opbouw van een juist inzicht in de mechanica hebben allerlei traditionele vraagstukken hun waarde heus wel bewezen. Het gaat er alleen om, om het tempo er in te kunnen houden. Als je een vraagstuk aanbiedt als "Van 80m hoogte werpt men een stalen kogel met een beginsnelheid van 30 m/s naar beneden. Wanneer treft de kogel de grond?...", dan moet je er ook aandacht aan besteden. Zo'n vraag is voor "het verhaal" van de mechanica niet strikt nodig, dus kan worden wegge laten. Daarvoor in de plaats kies je dan voor een groter aantal proefjes om de rol van "massa" in de natuurkunde duidelijk te maken. Dus wel aandacht voor de bepaling van de versnelling met het toestel van Atwood. En met spankrachten in koorden kan je nog menige zwakke leerling de das omdoen.

Om te laten zien hoe motivatie (leuke natuurkunde) en niveau en beter inzicht in de tegenwoordige leerling samen gaan, zijn een aantal proefwerkvragen gebundeld. Hierbij zijn "p-waarden" berekend, die aangeven het percentage van de te behalen punten, dat door de leerlingen werd gehaald. Bij het opstellen van de vragen is er bewust naar gestreefd om per vraagonderdeel slechts één soort redenering of werkzaamheid of kennisvraag te stellen, zodat de toets na afloop goed bespreekbaar is, of goed kan dienen als "oefenproefwerk" voor een volgend jaar. Op deze wijze is ook een evaluatie voor de leraar mogelijk. Trends die in deze opvallen: situatietekeningetjes naast een beschrijving in woorden, begrippen worden voluit gevraagd ("Stoot" is even groot als de impulsverandering, in plaats van $F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$ in formulevorm), experimenteel controleerbare situaties, geen streven naar mooie uitkomsten ("experimentele waarden"), bewust afstappen van traditioneel bekende situaties (hoeken van 30° of 45° , vierkantsvergelijkingen die zo mooi uitkomen van $g=10 \text{ m/s}^2$).

4. Het uitgedeelde gespreksmateriaal

Pietjan Wippoo

december 1981

Hoogeveen

Proefwerkvragen bij "Jardine" deel 3HV

Onderwerpen :

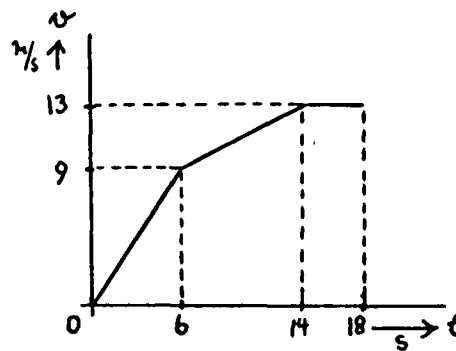
- 1. snelheidtijdsdiagram (hoofdstuk 3,4)
- 2. stroboscoopfoto's (hoofdstukken 3,4,5)
- 3. t/m 5, 7,8 : tijdtikkerband
- 3: hoofdstuk 1,2 (tijd, snelheid)
- 4: hoofdstuk 4 (versnelling bepalen)
- 5,6: hoofdstuk 5,6 (Newton : $F=m \cdot a$ in vele stappen)
- 7: hoofdstuk 7 (stoot, impuls)
- 8: hoofdstuk 5 (exp.inleiding Newton)

De getallen achter de letter P in de kantlijn geven de percentuele score van dat vraagonderdeel aan.

Voorbeeld : vraag 1.b.2 is "2 punten waard". Van de 22 leerlingen die de vraag hebben gemaakt krijgen 11 leerlingen 0 punten, 3 leerlingen krijgen 1 punt en 8 leerlingen krijgen 2 punten.

Dat zijn $3 \times 1 + 8 \times 2$ punten = 19 punten op een maximaal haalbaar aantal van $22 \times 2 = 44$ punten . De percentuele score is dan $\frac{19}{44} \times 100\% = 43\%$

1. Een wagentje beweegt over een rechte baan. Het verloop van de snelheid gedurende de rit is hiernaast grafisch uitgezet.



p 100

a.1. Bepaal de versnelling gedurende de eerste 6 seconden.

p 91

2. Bepaal de verplaatsing in die 6 seconden.

p 100

b.1. Bepaal de versnelling tussen $t=6$ s en $t=14$ s.

p 43

2. Bepaal de verplaatsing tussen $t=6$ s en $t=14$ s.

p 78

c. Bepaal de verplaatsing gedurende de eerste 18 seconden.

Na $t=18$ s remt het wagentje af met een vertraging van $1,3 \text{ m/s}^2$.

p 64

d. Bereken het tijdstip dat het wagentje stil staat.

p 74

e. Bereken de totale afgelegde weg van het wagentje.

2. Een pingpongballetje wordt horizontaal weggeschoten boven een gladde vloer. Het balletje is stroboscopisch belicht (20 flitsen per seconde) en gefotografeerd. De zwaartekrachtsversnelling is 10 m/s^2 .

p61

a.1. Bepaal de val-tijd tussen het moment van los-laten (eerste flits precies) en het raken van de vloer.

p80

2. Bereken de hoogte van het begin-punt boven de vloer.

p23

b. Bepaal de grootte van de horizontale snelheid waarmee het balletje werd weggeschoten.

p30

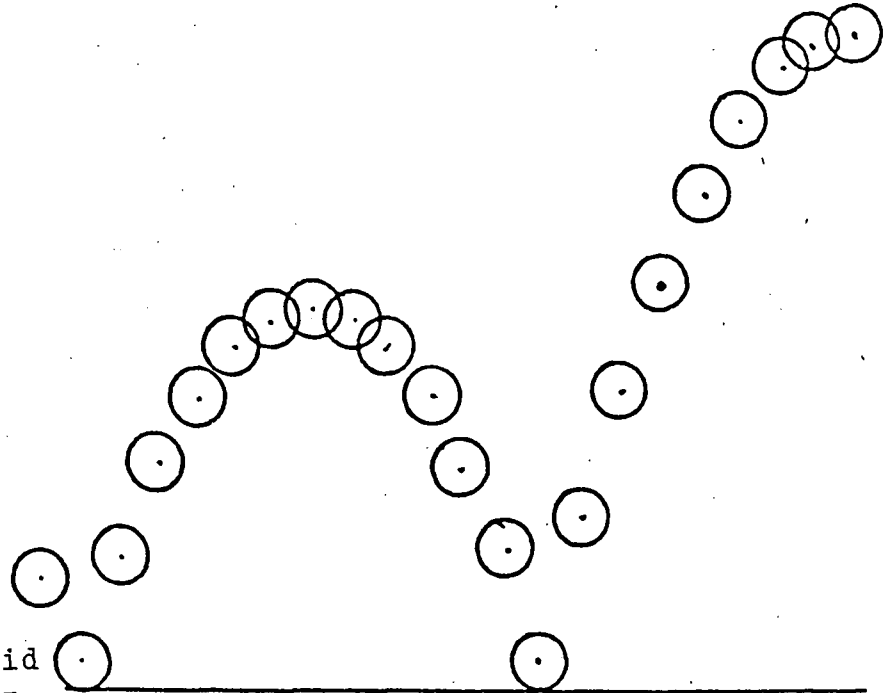
c. Controleer dat die horizontale snelheid ook na het weer opstuiten even groot blijft.

p27

d.1. Bepaal of bereken de snelheid waarmee het balletje voor de eerste keer de vloer raakt.

p04

2. Bepaal of bereken de snelheid waarmee het balletje direct daarna weer opstuit.

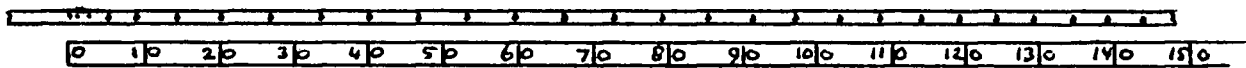


3. Een karretje wordt vastgehouden op een helling. Aan het karretje zit een papierstrook, die door een tijdtikker is geleid. De tijdtikker zet 10 stippen per seconde op de papierstrook.



Men zet de tijdtikker aan en laat daarna het karretje los. Het karretje rijdt de helling af en gaat over een horizontale baan verder.

Na afloop van de proef wordt de papierstrook naast een liniaal gelegd. Strook en liniaal zijn gefotografeerd en hieronder verkleind afgedrukt. (Schaal 1:10, getallen op liniaal zijn cm)



p75

a. Bepaal hoe lang het duurde voordat het karretje 100 cm had afgelegd.

p48

b. Leg uit wat de beperkingen van deze tijdtikker-methode zijn, zodat de tijdsduur van vraag a ook wel iets langer kan zijn.

p57

c.1. Bepaal hoe lang het duurde voordat het karretje met constante snelheid reed.

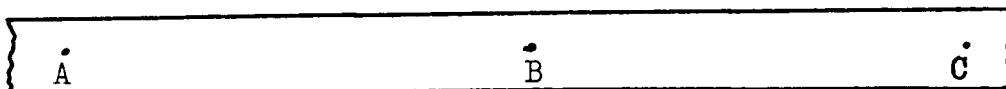
p70

2. Bepaal hoe groot die constante snelheid is.

p60

d. Schets het verloop van de snelheid van het karretje in een snelheid-tijd-diagram.

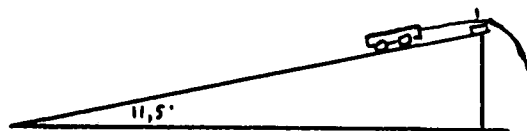
4. Aan een speelgoedraket is een papierstrook vastgemaakt die door een tijdtikker wordt geleid. De tijd tussen twee stippen op de strook is 0,02 s. De strook was niet lang genoeg : het laatste stuk zag er zó uit :



Stip C was de laatste stip.

- p 91 a. Hoe kan je controleren dat dit inderdaad waar is (dus dat de papierstrook niet "op de kop" ligt) ?
- p 53 b. Bepaal de snelheid toen stip B gezet werd.
- p 48 c. Laat zien dat uit dit stukje papierstrook blijkt dat de zwaartekrachtsversnelling ongeveer 10 m/s^2 is.
- p 49 d.1. Stel dat de papierstrook lang genoeg was, hoeveel stippen zouden er dan nog na stip C gezet zijn, tot dat de raket zijn hoogste punt heeft bereikt ? Licht het antwoord toe.
- p 50 2. Bereken hoe lang de papierstrook na stip C dan nog had moeten zijn.

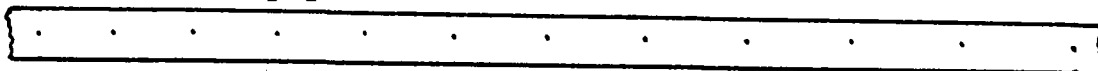
5. Een karretje met een massa van 0,30 kg ($F_z = 3,0 \text{ N}$) rijdt van een hellend vlak naar beneden. De hellingshoek is 11,5 graden. $\sin 11,5^\circ = 0,20$ $\cos 11,5^\circ = 0,98$.



- p 80 a. Teken op het antwoordblad de componenten van de zwaartekracht in de juiste verhouding.
- p 81 b. Bereken de grootte van de reactiekracht loodrecht op het vlak (De "normaal"-kracht)

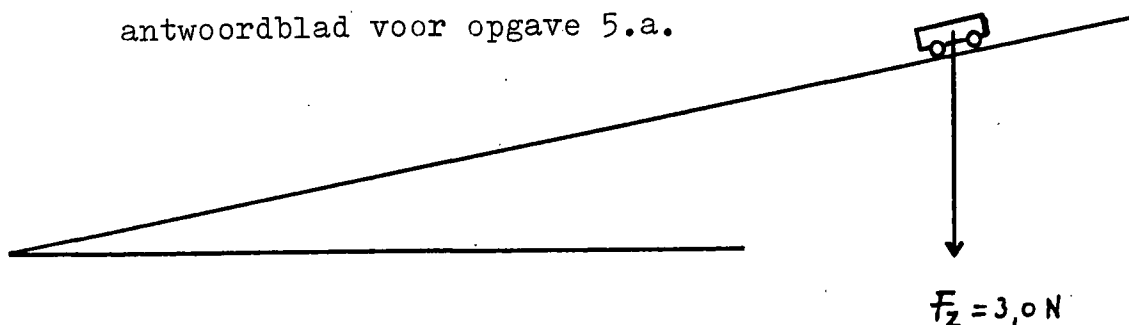
Aan het karretje is een papierstrook verbonden, die door een tijdtikker is geleid. De tikker zet 50 stippen per seconde.

Een stuk van de papierstrook staat hieronder.

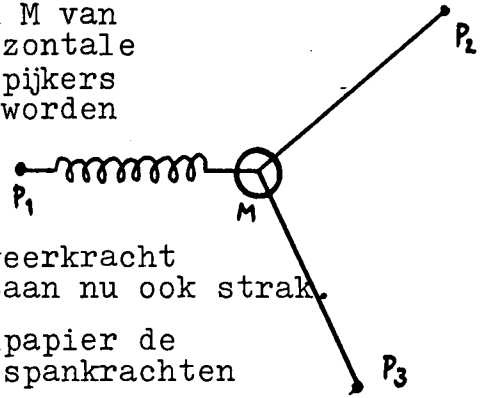


- p 74 c. Bepaal de werkelijke versnelling van het karretje.
- p 63 d. Bereken de grootte van de wrijvingskracht die het karretje ondervond. (Als het antwoord op vraag c. onbekend is, mag voor het beantwoorden van vraag d. een zelfgekozen geschikte waarde van de versnelling worden gekozen. Geef wel duidelijk aan wat je hebt gedaan.)

antwoordblad voor opgave 5.a.



6. Men slaat een spijkertje in het midden M van een houten sjoelsteen die op een horizontale tafel ligt. Tussen dit spijkertje en spijkers in P_1 en P_3 aan de rand van de tafel worden touwtjes aangebracht.



Daarna verbindt men het spijkertje in M via een veer met een spijker in P_1 . De veer wordt gespannen tot een veerkracht van 6,0 N. De touwtjes naar P_2 en P_3 staan nu ook strak.

p52

a. Teken in de figuur op het antwoordpapier de richting van de resultante van de spankrachten in de touwtjes naar P_2 en P_3 .

p21

b. Bepaal door constructie op het antwoordpapier de grootte van de spankrachten in de touwtjes naar P_2 en P_3 afzonderlijk.

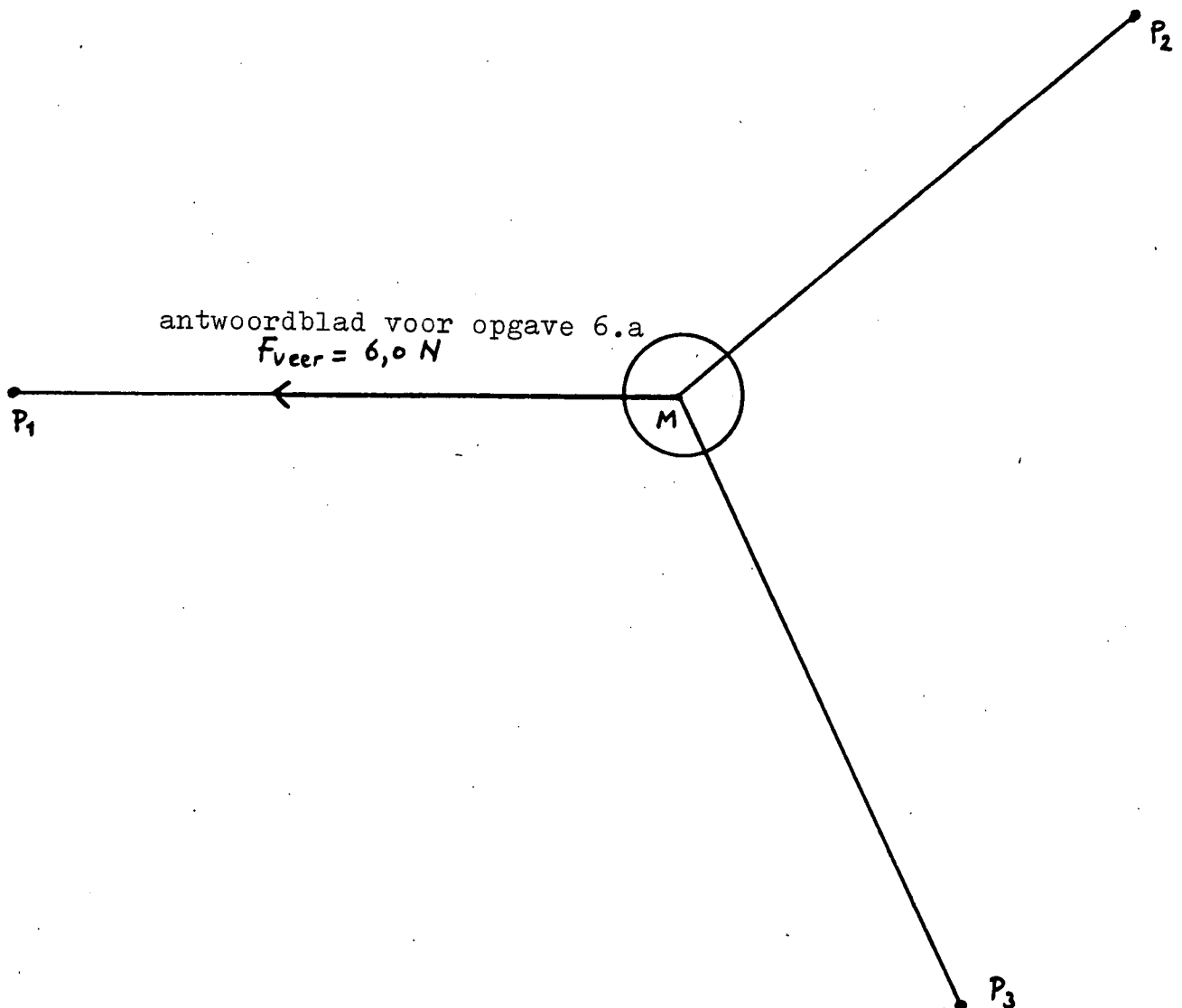
De massa van de sjoelsteen met spijkertje is 30 gram (0,030 kg). Men knipt de verbinding tussen sjoelsteen en de veer door.

p71

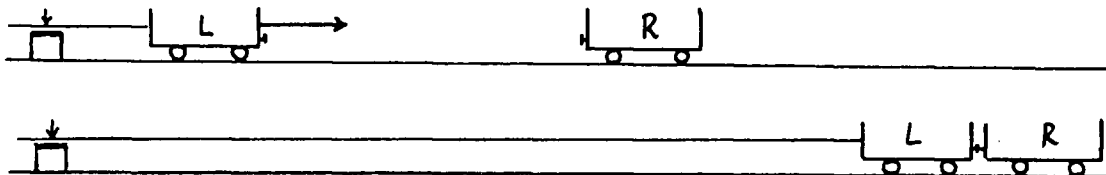
c. Bereken de versnelling waarmee de sjoelsteen gaat bewegen. Al heel gauw zijn de touwtjes naar P_2 en P_3 slap. De sjoelsteen heeft dan een snelheid van 2,4 m/s.²

p44

d. Bereken de stoot die de sjoelsteen heeft gekregen.

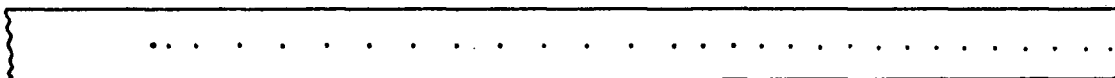


7. Op een rijbaan staan twee karretjes L en R. Men geeft het karretje L een stoot zodat dit karretje in de richting van R beweegt. Na de botsing gaan L en R samen verder.



De massa van karretje L is 0,30 kg. Aan L zit een papierstrook vast, die door een tijd-tikker is geleid. De tijd tussen het zetten van twee opeenvolgende stippen is 0,02 seconde.

De papierstrook staat hieronder afgedrukt.



p 50

- a.1. Bepaal de grootte van de stoot die L kreeg.

p 31

2. Hoe lang duurde de stoot? Vertel erbij welke afwijking in tijdsduur van jouw antwoord mogelijk is.

p 66

3. Bereken de kracht van de stoot.

p 69

- b.1. Hoe groot is de impuls van L vóór de botsing met R?

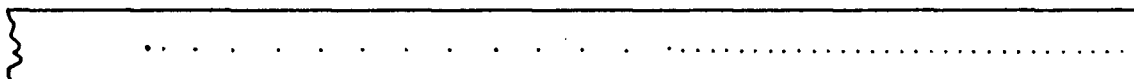
p 91

2. Hoe groot is de impuls van L en R samen na de botsing?

p 76

3. Bereken de massa van R.

Men herhaalt de proef, maar nu botsen L en R veerkrachtig (elastisch). De snelheid van L vóór de botsing is even groot als in de vorige proef (zie de nieuwe papierstrook).



p 48

- c.1. Bepaal de impuls van L na de botsing.

p 52

2. Bereken de impuls van R na de botsing.

8. Op de kop van een karretje zit een grote stootveer. Men drukt het karretje tegen een muur, zodat de veer geheel ingedrukt wordt. Aan het karretje is een papierstrook vastgemaakt. Een tijdtikker zet per seconde 50 stippen op de papierstrook. Men laat het karretje los. De papierstrook ziet er dan zó uit:



Stip S werd gezet precies op het startmoment. Stip L werd gezet precies op het moment dat de veer los kwam van de muur.

p 100

- a. Hoe zie je dat de beweging tussen het zetten van de stippen S en L versneld is?

p 54

- b. Hoe zou je moeten meten om te kunnen vinden dat de versnelling tijdens die beweging afneemt.

p 59

- c. Waarom is de beweging tussen het zetten van S en L versneld?

p 39

- d. Waarom wordt de versnelling tijdens die beweging kleiner?

Daarna herhaalt men de proef, maar dan met een zwaar voorwerp op het karretje vastgemaakt.

p 88

- e.1. Hoe verandert dan de grootte van de versnelling ten opzichte van de vorige proef?

p 54

2. Hoe verandert dan de tijdsduur dat die versnelling werkt ten opzichte van de vorige proef?

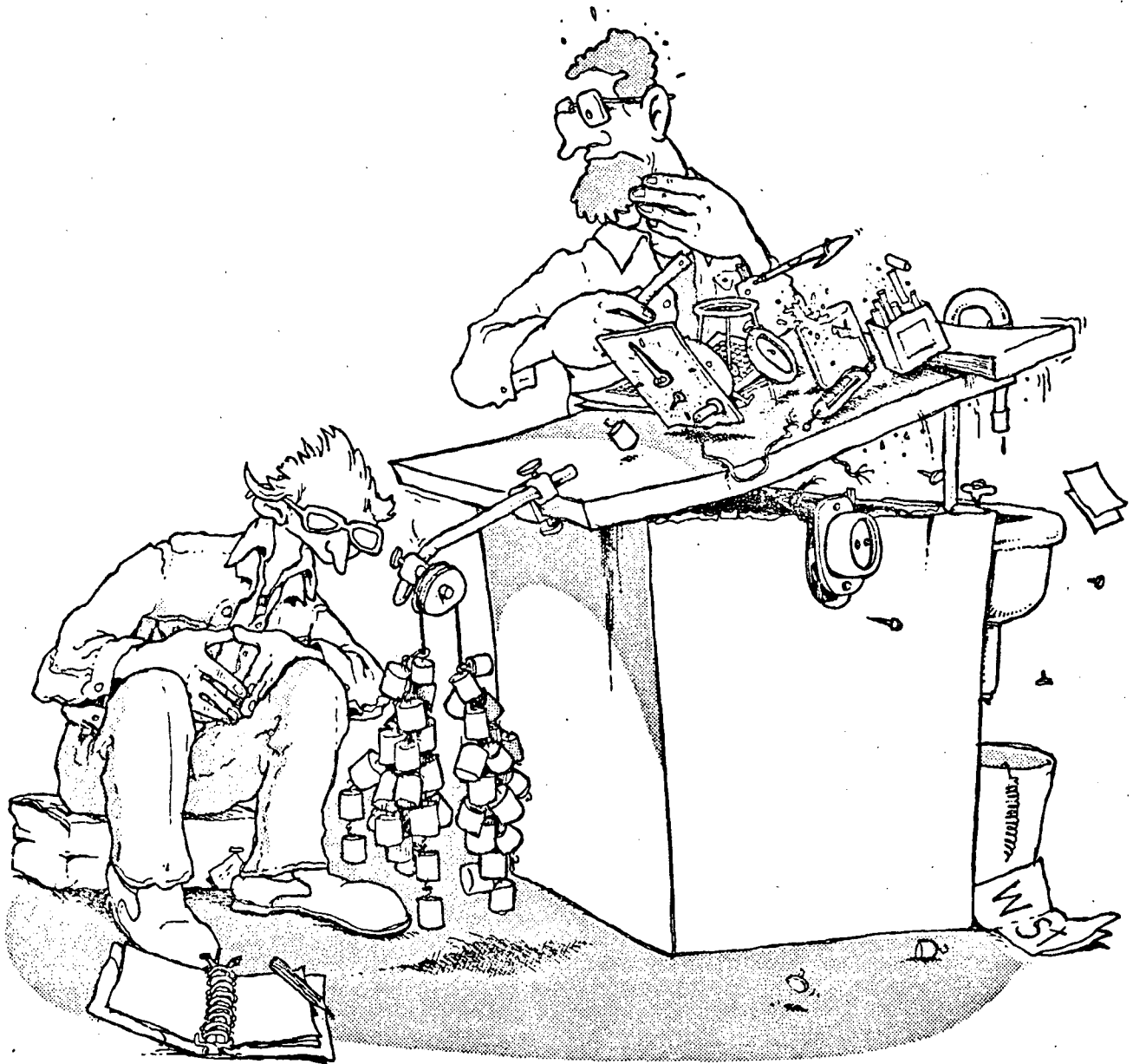
5. Opmerkingen achteraf.

Het verhaal is een eerste aanzet voor de bespreking van de situatie bij de natuurkundelessen in de middenklassen. Het is echter 'niet af'.

Op de conferentie niet - als je met 15 tot 20 deelnemers een beetje op gang bent, is het 'tijd' -, maar in dit verslag ook nog niet. Vooral het 'begin' van de mechanica komt aan bod, maar de latere onderwerpen zijn maar terloops aangestipt. Verder was er te weinig tijd om uitgebreider in te gaan op de vraag of de deelnemers in de groep vonden of ze uit het voorgeschotelde genoeg inspiratie konden putten.

Tenslotte ben ikzelf ook nog steeds 'aan het zoeken', dus het kan best wezen, dat ik dingen die ik nu belangrijk vind, straks weer relativeer.

Maar ik beleef er nu genoeg plezier van.



subgroep 16

'Problem Solving'

J.Hendricx, H.Verstralen

1. Inleiding

In augustus 1978 is op het CITO een onderzoekproject gestart met de naam: 'Evaluatie van het aanpakgedrag bij problem solving', kortweg aan te duiden als project 'Problem Solving'.

Doel van dit project is om een concept voor een instrument te ontwikkelen, waarmee aanpakgedrag van leerlingen bij probleemoplossen zichtbaar en evalueerbaar kan worden gemaakt. Inzicht in dat aanpakgedrag is van belang voor vakdidaktiek, evaluatie van leerlingenprestaties en curriculumontwikkeling. Het onderzoek heeft zich tot nu toe beperkt tot de schoolvakken wiskunde en natuurkunde. De analyse van 'hardopdenk-protokollen' speelt hierbij een grote rol. De manier waarop deze protokollen worden onderzocht geeft belangrijke informatie over de opvattingen en inzichten die in het project ontwikkeld zijn. Vandaar dat in deze subgroep hardop-denk-protokollen en de analyse daarvan centraal stonden.

2. Hardopdenkend een mechanica-probleem oplossen

In beide bijeenkomsten van deze subgroep werd begonnen met het hardopdenkend oplossen van een probleem uit de mechanica door één (op vrijdagavond zelfs twee) van de aanwezigen. Aan de overige aanwezigen werd gevraagd om te pogen een indruk te verkrijgen van het denkproces van de oplosser(s).

De bedoeling hiervan was om de aanwezigen 'aan den lijve' de moeilijkheden te laten ervaren van het zodanig luisteren naar hardopdenken, dat men hieraan zinvolle informatie kan ontleen over de denkprocessen die daaraan ten grondslag liggen. Bovendien vormden de aldus ontstane "deskundige-protokollen" een goede aanleiding om een gesprek - of discussie op gang te brengen over denken en leerprocessen.

3. De protokol-analyse

Er zijn allerlei manieren om hardop-denk-protokollen te analyseren, onder meer afhankelijk van de inzichten van de onderzoeker en van het doel van die analyse. Aan de hand van enkele door ons uitgereikte protokollen hebben we een indruk gegeven van de manier waarop die analyse in het kader van het Cito-project "Problem Solving" op het moment door ons wordt aangepakt (overigens nadat andere analysemethoden na verloop van tijd niet meer bevredigden). We onderscheiden daarbij drie soorten stappen in het oplosproces. De drie categorieën heten "vaktaal konstruktie", "spraakloze konstruktie" en "relatering aan vaktaal." Voor een grondige uiteenzetting van de opvattingen waarop deze analysemethode - en de naamgeving van de drie categorieën denkstappen - is gebaseerd, verwijzen we naar het verslag "Taal en Intuïtie bij Leren en Probleemoplossen", van H. Verstralen (dit verslag is in maart '81 in voorlopige vorm binnen het Cito uitgebracht, en zal in de loop van '82 worden uitgegeven als Specialistisch Bulletin).

Om deze manier van protokolanalyse en daarmee enkele opvattingen over denkprocessen te verduidelijken, werden de deelnemers voorzien van een aantal uitgetypte hardop-denk-protokollen. Deze waren afkomstig van zowel "deskundigen" als V.W.O.-leerlingen, die hetzelfde mechanika-probleem hadden proberen op te lossen. Aan een vergelijking tussen deze uitgetypte protokollen en het ter plekke verwoorde oplosproces zijn we amper toegekomen. Wel gaven de vrijwilligers te kennen dat het hardop denkend oplossen (in aanwezigheid van een vijf-tiental kollega's) beslist een negatieve invloed had uitgeoefend op hun denken. Dit effect zal weinigen verbazen, vooral als men bedenkt dat de op het eerste gezicht erg simpel ogende mechanika-opgave bij nadere beschouwing toch wat lastiger bleek te zijn!

In de volgende paragraaf zullen we proberen om de essentie van de begrippen "spraakloze konstruktie", "vaktaal konstruktie" en "relatering aan vaktaal" beknopt weer te geven, toegespitst op het oplossen van natuurkunde-opgaven.

4. Theoretische achtergrond van de analyse-methode

Een natuurkunde-opgave bestaat in het algemeen uit een stuk tekst waarin een bepaalde situatie wordt geschetst en enkele gegeven worden verstrekt, afgesloten met een vraag. In die tekst worden zowel vakspecifieke woorden en begrippen gebezigd (kinetische energie, magnetisch veld, konstante van Planck, enz.), alsook gewone taal (er worden kogels onder hoeken met de horizon afgeschoten,

lenzen tussen lampen en schermen geplaatst, enz.). Om het gestelde probleem op te lossen, dient de oplosser zich onder andere een beeld te vormen van de geschetste situatie, om vervolgens al redenerend en rekenend het probleem aan te pakken. Dit redeneren gebeurt voor een deel in gewone taal, terwijl er ook denkhandelingen worden verricht met vakspecifieke begrippen en concepten. Deze denkhandelingen kunnen variëren van het vrijwel automatisch manipuleren met symbolen (bijv.: het oplossen van een vergelijking) tot het toetsen van nieuw verworven inzichten aan eerdere opvattingen en ervaringen (bijv.: nagaan wat het begrip "materie-golven" toevoegt of wijzigt aan je concept over materie én over "golven").

Overigens is door onderzoek aangetoond dat dit laatste (het wijzigen van oude noties en concepten op grond van nieuwe informatie) in leerprocessen vaak onvolledig gebeurt of zelfs achterwege blijft. In een later stadium van het leerproces blijkt dan soms, dat er volkomen foute of onvolledige notities gekoppeld worden aan woorden en/of symbolen, waarvan de onderwijsgevende aannam dat ze "begrepen" waren.

Het onderscheid tussen woorden (of symbolen) en hun betekenis is van wezenlijk belang bij denkprocessen en daarmee bij onderwijs-leerprocessen. Zo zal een bepaalde leerling, na de eerste les over het onderwerp "golven", bij het lezen van het woord "golflengte" misschien een beeld voor ogen krijgen dat bestaat uit een sinus-achtige sorm, stippellijntjes en pijltjes met het woord "golflengte", omdat in het leerboek een dergelijke figuur was afgedrukt. Bij een klasgenoot, die wat beter heeft meegedaan in de les, spookt misschien behalve zo'n visuele indruk ook nog een vage notie door het hoofd dat er één of andere samenhang was tussen de betekenissen van de woorden "golflengte" en "golfsnelheid", eventueel nog gekoppeld aan een gedachtenflits dat het woord "frequentie" er iets mee te maken had.

Een derde leerling kan zich bij het lezen van het woord "golflengte" niet meer herinneren wat dat woord betekent, maar weet nog wel dat λ het symbool is voor golflengte.

Je kunt je voorstellen dat als hun natuurkundeleraar hetzelfde woordje "golflengte" leest, hij dit associeert (of beter: kan associëren) met een groot aantal noties. Het zou vele bladzijden vergen om dit associatieveld te beschrijven, met alle daarin voorkomende visualisaties van b.v. flarden demonstratiefilmpljes, formules en symbolen, herinneringen aan zeeziekte (gepaard met een zweverig gevoel in de maag), foto's, emoties, begrippen, noties van een stem die iets uitlegt, herinneringen aan fout-goed-niet-opgeloste sommen, voorkeur voor de uitleg van het begrip golflengte in een bepaald leerboek, plus hun

onderlinge verbanden.

Een deel van dit associatieveld bestaat uit een zodanige voorstelling van het begrip golflengte, dat hij met die voorstelling fysisch zinvolle denkhandelingen kan uitvoeren. Deze voorstelling bestaat bijvoorbeeld uit het beeld van lopende transversale golven, met enkele meereizende lijnstukjes die "overeenkomstige punten" van de golven met elkaar verbinden, terwijl bij zo'n lijntje het symbool λ staat. Afhankelijk van de context, dienen bovendien noties realiseerbaar te zijn die het begrip golflengte koppelen aan b.v. staande golven, longitudinale golven, frekwentie, kleur, toonhoogte, fase, golfsnelheid, enz. Deze fysische zinvolle betekenisverlening aan het woord "golflengte" wordt de "spraakloze voortzetting" van dat woord genoemd (of ook wel: exakte intuïtie). Een stap in het oplosproces, waarbij exakte intuïties een wezenlijke rol spelen, wordt door ons bij de -analyse van hardop-denk-protokollen geklassificeerd als een "spraakloze konstruktie."

Indien spraakloze voortzettingen géén belangrijke rol spelen bij de betreffende denkhandeling, wordt deze gekarakteriseerd als een "vaktaal konstruktie".

Denkstappen, die een koppeling aanbrengen tussen spraakloze voortzettingen en vaktaal, heten kortweg "relatering aan vaktaal".

Een oplosproces, waaraan iedere denkstap in één van deze drie categorieën is ingedeeld, kan grafisch worden weergegeven. Een "vaktaal konstruktie" tekenen we in een assenstelsel als een horizontaal (eenheids-)streepje, een "spraakloze konstruktie" als een vertikaal streepje en een "relatering aan vaktaal" als een diagonaal streepje.

De op deze wijze ontstane oplosgrafiek geeft in één oogopslag een overzicht van het hardop-denk-protokol betreffende de drie genoemde aspecten.

Deze grafieken bieden bovendien de mogelijkheid om verschillende personen (zelfde opgave) te vergelijken, of verschillende opgaven (zelfde persoon).

5. Slotopmerkingen

Uit bovenstaande beschrijvingen zijn talloze vragen en problemen te destilleren, die voor een deel in de subgroep aan de orde zijn geweest. Behalve de al genoemde samenhang tussen een hardop-denk-protokol en de vorming van ideeën over het denkproces, is er vooral gediskussieerd over de rol die spraakloze voortzettingen spelen bij oplosprocessen.

De door een deelnemer geopperde veronderstelling dat het oplosproces van een deskundige hoofdzakelijk zou bestaan uit "vaktaal konstrukties" ontmoette tegenstand bij andere deelnemers (ongetwijfeld bestaat het gevaar dat men in een deskundige protokol een denkstap klassificeert als "vaktaal konstruktie", terwijl

wel degelijk betekenisvol is gehandeld. Hierbij dient te worden bedacht, dat een deskundige en een leerling slechts schijnbaar over dezelfde zaken praten als ze bijvoorbeeld het woord "golflengte" bezigen. Dit is overigens slechts één van de vele problemen die ook bij de protokol-analyse een rol spelen. Het zwaartepunt van de discussie verplaatste zich haast onopgemerkt: ging het gesprek aanvankelijk over de rol van spraakloze voortzettingen bij oplosprocessen, later wisselde men vooral van gedachten over hun rol bij onderwijsleerprocessen. Gekonstateerd werd, dat in het onderwijsproces vrijwel nergens expliciet aandacht wordt besteed aan spraakloze voortzettingen. Tot welke desastreuze gevolgen voor het natuurkundig inzicht van veel leerlingen dit leidt, werd in de slotlezing van de conferentie treffend geïllustreerd, waarbij we de hiervoor geschetste begrippen "vaktaal konstruktie" en "spraakloze konstruktie" gemakshalve vereenvoudigen tot de door Piet Lijnse gehanteerde notities "schoolbeeld" respectievelijk "straatbeeld". Zo kreeg de discussie uit de subgroep een onverwachte voortzetting! Uit het bovenstaande zal echter duidelijk zijn dat het er naar ons idee niet om gaat te kiezen tussen "straatbeeld" dan wel "schoolbeeld" in de schoolnatuurkunde, maar om expliciet en systematisch aandacht te schenken aan de vorming van zinvolle en samenhangende exakte intuïties volgens de natuurkunde-taal. Hierin hebben zowel "straatbeelden" als "schoolbeelden" een plaats.

SUBGROEP: **17**

A.W.Gravesteyn

TOETSEN HOE DOE JE DAT ?

Onderwerptoetsen Mechanica mavo-4

Het doel van de subgroep is tweeledig:

1. oriëntatie en discussie over het toetsen van Mechanica in de onderwerptoetsen van het CITO.
2. discussie over het toetsen in algemenere zin.

In de subgroep zijn voor de deelnemers een aantal toetsen aanwezig. Voor mavo-4 Mechanica, Energie en experimentele versie Energie-omzettingen. Een aantal (± 20) items worden door de deelnemers opgelost. Daarna vindt een discussie plaats over deze items. De discussie zal o.a. gaan over het waarom en het hoe van het toetsen. Heeft toetsen een selectief dan wel een diagnostisch karakter of beide. Stelt men alleen open vragen of meerkeuze vragen of beide, enz.

SUBGROEP: **18**

H.W.L.Vonken

TOETSEN HOE DOE JE DAT ?

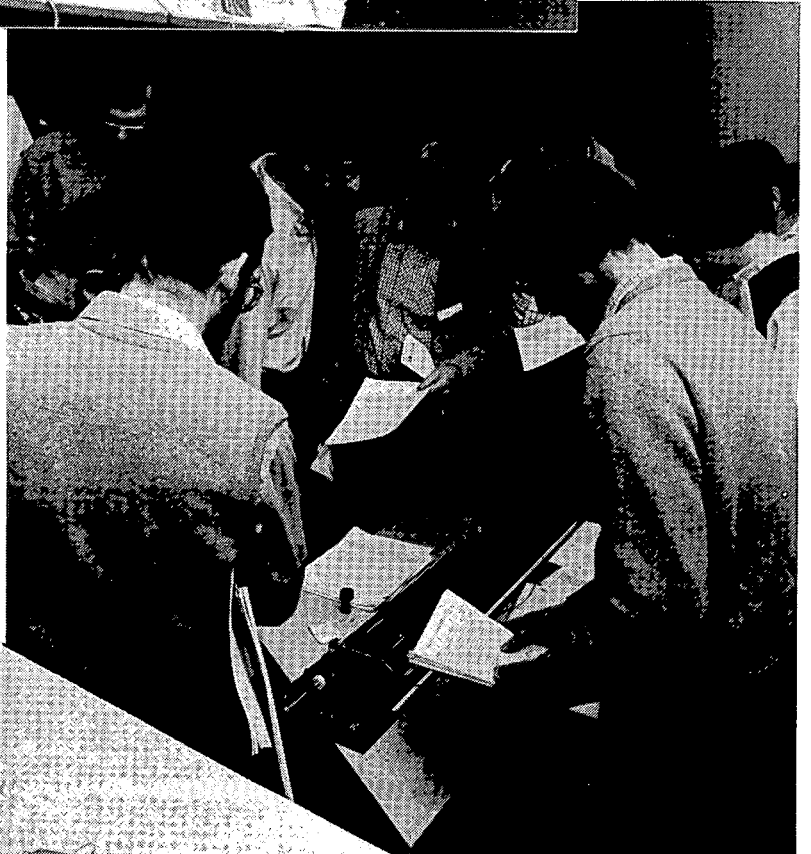
Onderwerptoetsen Mechanica havo-4 en vwo-4

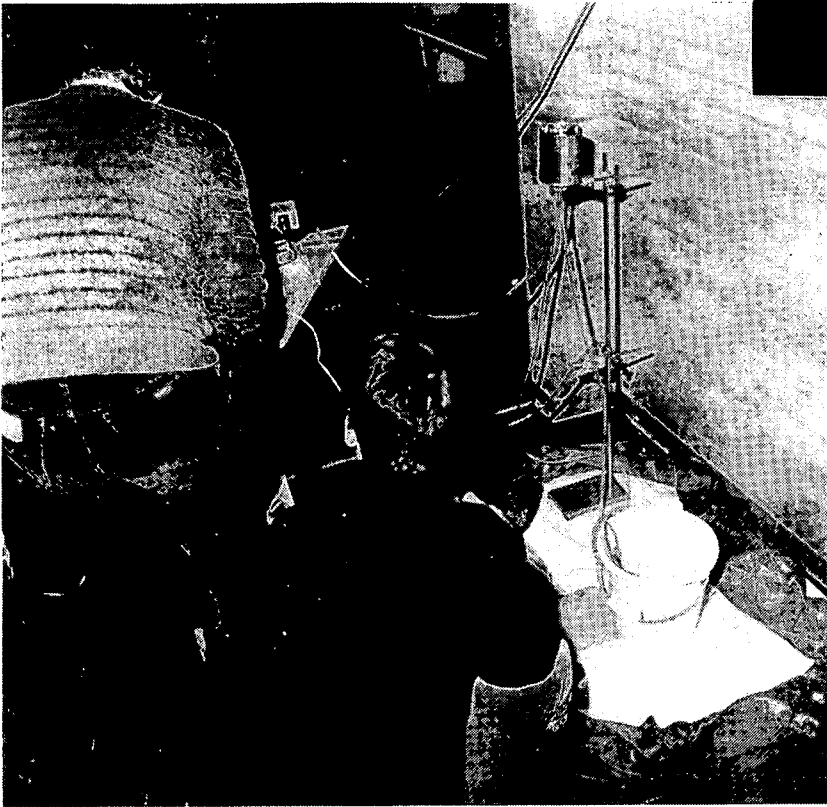
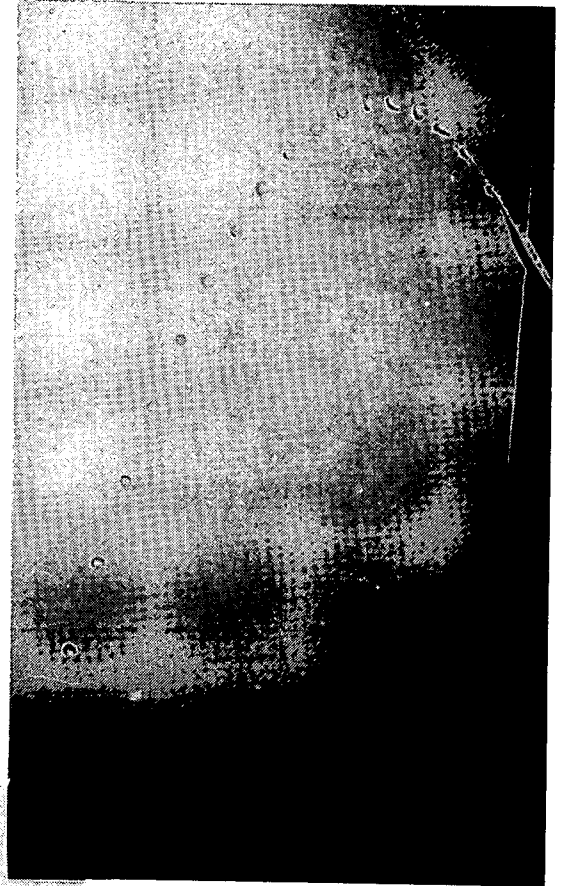
Het doel van de subgroep is tweeledig:

1. oriëntatie en discussie over het toetsen van Mechanica in de onderwerptoetsen van het CITO.
2. discussie over het toetsen in algemenere zin.

In de subgroep zijn voor de deelnemers een aantal toetsen aanwezig. Voor havo-4 en vwo-4 Kinematica, Mechanische Energie, Trillingen en experimentele versies Dynamica. Een aantal (± 20) items worden door de deelnemers opgelost. Daarna vindt een discussie plaats over deze items. De discussie zal o.a. gaan over het waarom en het hoe van het toetsen. Heeft toetsen een selectief dan wel een diagnostisch karakter of beide. Stelt men alleen open vragen of meerkeuze vragen of beide, enz.

Markt





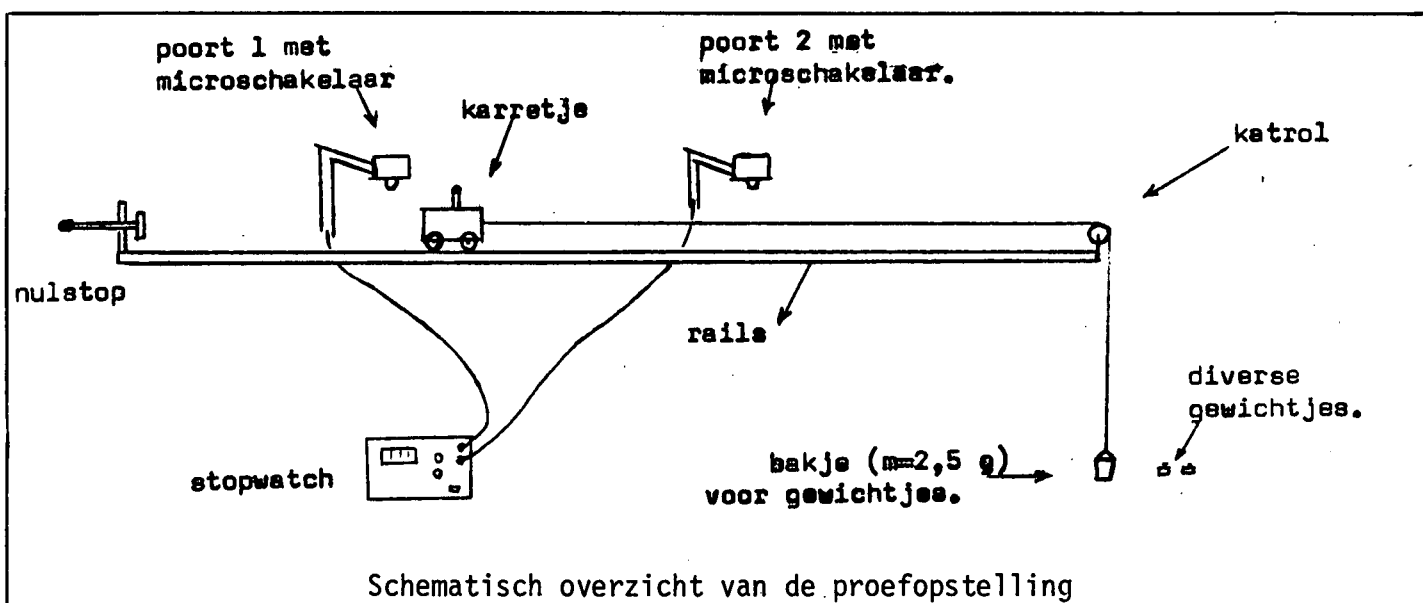
Opstelling voor leerlingenpraktikum mechanika

Andreas College - Drachten

Enkele algemene gegevens:

Het principe van deze praktikumopstelling is eenvoudig: Een karretje rijdt over een rails. Het karretje kan doorrijden doordat het wordt getrokken door een overgewichtje via een katrol, of door de rails te laten hellen (of beide). Wanneer het karretje een poort passeert tikt het een mikroschakelaar aan waardoor een elektronische stopwatch gaat lopen. Wanneer het karretje een tweede poort passeert wordt de stopwatch op dezelfde wijze weer gestopt. (Zie onderstaande tekening).

Bouw en kosten: Van deze opstelling worden door onze amanuensis 12 exemplaren gemaakt voor circa f 120,- per stuk.*⁾ Het eerste exemplaar is in december '81 gereed gekomen. Inlichtingen betreffende de konstruktie, materiaalkeuze en onderdelen zijn tegen onkosten-vergoeding verkrijgbaar bij de amanuensis van het Andreas College.



*⁾ (Deze f 120,- per stuk betreffen uitsluitend de materiaalkosten).

Nog een toelichting: De stopwatch wordt bediend door een uit-aan-uit schakeling. De mikroschakelaar kan echter ook op een ander kontakt worden aangesloten zodat-ie juist aan-uit-aan schakelt. Dit maakt het mogelijk om de stopwatch te laten starten op het moment dat het karretje onder de schakelaar wegrijdt zodat $x(0) = 0$ en $v(0) = 0$. (nulstart). Dit andere kontakt van de mikroschakelaar kan met een andere schakelaar worden ingesteld. Om te voorkomen dat de stopwatch door zou blijven lopen moet deze andere schakelaar direkt na de start van het karretje weer in de oorspronkelijke stand worden teruggezet. Dit lijkt wat ingewikkeld maar na enige oefening lukt het best. Bovendien werken de leerlingen in groepjes van twee, zodat de taken verdeeld kunnen worden.

Het blijkt ook mogelijk te zijn om de stopwatch, i.p.v. een mikroschakelaar, te bedienen m.b.v. een poort waarin een lampje en een fototransistor tegenover elkaar zijn gemonteerd. Ook voor de konstruktie van rails en karretje zijn er diverse mogelijkheden. Het maken van een goed lichtlopend karretje kostte ons nog het meeste moeite.

Mogelijkheden voor leerlingenpraktikum: De mogelijkheden voor leerlingenpraktikum die wij zien worden hier kort opgesomd. (Misschien weet U er nog meer te bedenken?)

Bij de proeven die al zijn uitgeprobeerd zijn meetresultaten bijgevoegd.

A) eenparige beweging: Het verkrijgen van een konstante snelheid door de wrijving te compenseren.

B) eenparig versnelde beweging: $v = \Delta x / \Delta t$ kan gemeten worden. Door de intervalgemiddelde snelheid: len steeds kleiner te maken kom je tot een limietwaarde voor v op een bepaalde plaats x_t . Het tijdstip t kan bepaald worden en daarmee dus ook v_t .

De versnelling kan bepaald worden uit:

$$x_t = \frac{1}{2} a t^2.$$

of uit: $a = \Delta v / \Delta t.$

of (met $v_0 = 0$) uit: $a = v_t / t.$

De formules: $v_t - v_0 = a t$ en: $x_t - x_0 = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a t^2,$

kunnen experimenteel gecontroleerd worden.

- C) wetten van Newton: $F=m \cdot a$ kan gecontroleerd worden.
actie=-reactie: een proefje (met twee karretjes)
moet nog uitgewerkt worden.
- D) Wrijvingskracht (F_w): Het bepalen van F_w m.b.v. een overgewichtje zódanig
dat het karretje juist eenparig rijdt.
en Zwaartekracht (F_z) Het bepalen van F_w uit de hellingshoek waarbij het
karretje juist eenparig rijdt.
Het bepalen van de versnelling van de zwaartekracht
door de versnelling van het karretje te meten bij
een bepaalde (eveneens te meten) hellingshoek.
(wrijvingscompensatie d.m.v. overgewichtje)
- E) Arbeid en energie: Het karretje "lanceren" m.b.v. een trekveer. Meet
 v_{begin} en hoeveel cm (Δx) het karretje aflegt voor-
dat het tot stilstand komt. Controle van:
 $F_w \cdot \Delta x = \frac{1}{2} m v^2$.
- F) Impulswet: Controle van $F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$
Eventuele andere toepassingen van de impulswet op
deze proefopstelling moeten nog onderzocht worden.

deel III

evaluatie

Behalve 5 lezingen, 20 werkgroepen en 1000 proefjes, is 'Woudschoten' ook 250 mensen die kijken, luisteren, meedoen en er het hunnen van denken.

Om iets meer zicht te krijgen op hoe de 'Woudschoten'gangers de diverse activiteiten waarderen, waarom ze naar de konferentie komen en of het volgend jaar wéér zo moet, vroegen de organisatoren ons, om onze oren nét iets verder open te zetten dan we toch al gewend waren en om de mensen af en toe te vragen wat ze er van vonden.

Omdat het verslag van onze bevindingen misschien niet uitsluitend voor de organisatoren, maar ook voor de deelnemers leuk is om te lezen en omdat het wellicht aanleiding is voor reacties (die op hoge prijs worden gesteld), treft U het hier aan.

Het meest algemene beeld is dat van mensen die over natuurkundeonderwijs praten. De gesprekken erover zijn geanimeerd, zelden heftig. Voor wie het nog niet wist, is het onmiddellijk duidelijk: dit zijn natuurkundeleraren, heel veel natuurkundeleraren, een enkele lerares en wat lerarenopleiders.

De markt blijkt het meest pakkende gedeelte van de konferentie te zijn. Alles wordt bekeken, alles wordt geprobeerd. De aanvankelijke vrees van de organisatoren dat de zeer nabijgelegen bar een al te grote zuigkracht zou gaan uitoefenen blijkt ongegrond: de markt loopt slechts zeer langzaam leeg en om één uur 's nachts zijn er nōg mensen aan de gang met een mikro-komputer.

Toch is het sukses van de markt, niet het sukses van de hēle markt.

Men was getroffen door het simpele, door de natuurkunde van de paperclip en de w.c.-rol, door de verbluffende schoonheid van de zwevende waterdruppels. De mooie, volmaakte, dure apparatuur van de industrie kreeg wel belangstelling, maar het was nogal een sceptische belangstelling.

'Veel te duur, het budget is in één keer op als je zoiets koopt' werd gezegd, en: 'Misschien doe ik hier nog een ideetje op om zelf te maken'.

Ook werd het jammer gevonden dat dure apparaten vaak alleen bruikbaar waren in één heel specifieke proefopstelling.

En tot slot: het blijkt veel leuker om met een enthousiaste kollega te praten over iets wat hij zelf bedacht heeft, dan met een professionele verkoper over het topprodukt wat hij heeft aan te bieden.

Dan waren er de werkgroepen. Het is uiteraard onmogelijk om een eenduidig beeld te schetsen van hoe de werkgroepen gewaardeerd werden, daarvoor waren de groepen onderling te verschillend kwa opzet, inhoud en begeleiding.

Als we toch proberen iets meer te zeggen dan alleen het bovenstaande, dan komen we terecht bij het onduidelijke, onaffe gevoel dat sommigen hadden omtrent hun groep. Het is - gezien de methode van evaluatie - niet mogelijk om aan te geven op welke groepen in welke mate het bovenstaande betrekking heeft. Wat we wél kunnen doen is proberen iets aan te geven van de oorzaken van die onafheid en onduidelijkheid.

Enerzijds werd soms niet voldaan aan de verwachtingen met betrekking tot de inhoud van de groep: soms werd de inhoud erg mager gevonden - magerder in elk geval dan de voorinformatie suggereerde -, soms bestond de inhoud in feite uitsluitend uit een (open) vraag, soms ook werd de werkgroep ervaren als een reclameboodschap voor een bepaalde methode.

Anderzijds was ook de begeleiding in een aantal gevallen niet naar volledige tevredenheid: misschien hadden sommige groepsleiders hun taak onderschat en zich dientengevolge onvoldoende voorbereid, voor een aantal speelde ook zeker onervarenheid in het begeleiden van een dergelijke groep een rol.

Uit het bovenstaande blijkt eens te meer dat het geen eenvoudige opgave is, een goed programma voor een werkgroep te bedenken en uit te voeren en dat het - voor de organisatoren - al evenmin simpel is een voldoende groot aantal werkgroepen bij elkaar te krijgen, die kunnen voldoen aan de, kennelijk hoge, eisen die gesteld worden.

Veel meer dan de plenaire vragenronde na elke lezing, was de korte koffie - en thee pauze steeds het moment om te discussieëren wat de spreker zojuist te berde had gebracht. Men was het uiteraard lang niet altijd met hem en elkaar eens, ook niet verwonderlijk, gegeven de grote verschillen tussen de sprekers onderling en de diversiteit van de groep konferentiegangers.

Wat betreft de lezingen willen we volstaan met enkele kanttekeningen bij iedere lezing afzonderlijk.

Het wonderlijke van het verhaal van de heer Middellink was, dat er vrij algemeen kritiek was op zijn methode, terwijl we er toch van uit mogen gaan dat een zeer flink deel van de aanwezige leraren het boek gebruiken.

BULAGE