

# Het praktikum in het schoolonderzoek natuurkunde : beoordeling van praktikumvaardigheden op HAVO- en VWO- scholen

**Citation for published version (APA):**

Verkerk, G. (1983). *Het praktikum in het schoolonderzoek natuurkunde : beoordeling van praktikumvaardigheden op HAVO- en VWO-scholen*. [Dissertatie 1 (Onderzoek TU/e / Promotie TU/e), Applied Physics and Science Education]. Van Walraven. <https://doi.org/10.6100/IR121266>

**DOI:**

[10.6100/IR121266](https://doi.org/10.6100/IR121266)

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1983

**Document Version:**

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

**Please check the document version of this publication:**

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

**G.VERKERK**

---

**Het praktikum  
in het schoolonderzoek  
natuurkunde**

*Beoordeling van praktikumvaardigheden  
op havo- en vwo-scholen*

---

**Van Walraven**

**Aan Marian  
en de jongens**

0 1 2 3 4 5 / 88 87 86 85 84 83

© 1983 Van Walraven bv, Apeldoorn, The Netherlands  
Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

ISBN 90 6049 360 5



# **Het praktikum in het schoolonderzoek natuurkunde**

*Beoordeling van praktikumvaardigheden  
op havo- en vwo-scholen*

**PRACTICAL WORK IN THE PHYSICS SCHOOL EXAMINATIONS**  
assessment of practical work  
in havo- and vwo-schools  
(with summary in English)

## **PROEFSCHRIFT**

ter verkrijging van de graad van doctor  
in de technische wetenschappen  
aan de Technische Hogeschool Eindhoven,  
op gezag van de rector magnificus, prof. dr. S.T.M. Ackermans  
voor een commissie aangewezen door het kollege van dekanen  
in het openbaar te verdedigen op  
dinsdag 22 maart 1983 te 16.00 uur

door

Gerrit Verkerk

geboren te Stolwijk

**VAN WALRAVEN / APELDOORN**

Dit proefschrift is goedgekeurd door de promotoren:

Prof. dr. J.Ph. Steller

en

Prof. dr. M.J. Steenland

# INHOUDSOPGAVE

Woord vooraf .....	9
Inleiding .....	11
<b>Hoofdstuk 1. De ontwikkeling van praktikum naar praktikumtoetsen</b> .....	13
Invoering schoolonderzoek .....	14
Landelijke activiteiten .....	15
Praktikum schoolonderzoek verplicht .....	15
Ontwikkeling van praktikumtoetsen door CITO .....	16
Woudschotenkonferentie .....	16
Landelijke enquête en leerlingenpraktikum .....	17
Landelijke enquête en praktikum schoolonderzoek .....	19
Situatie na 1978 .....	21
<b>Hoofdstuk 2. Eigen ervaringen met praktikum schoolonderzoek</b> .....	22
Gewoon praktikum .....	22
Demonstratie- en praktikumtoetsen met beoordeling achteraf .....	23
Demonstratie- en praktikumtoetsen met beoordeling tijdens de uitvoering .....	25
Mondeling tentamen met proeven .....	27
Onderzoekjes in projectvorm .....	28
Eigen ervaringen en het samenwerkingsverband .....	29
<b>Hoofdstuk 3. Praktikumdoelstellingen en praktikumtoetsing</b> .....	31
Onderwijsdoelstellingen .....	32
Taxonomie van onderwijsdoelstellingen .....	33
Praktikumdoelen in de jaren vijftig .....	33
Rangorde van praktikumdoelen door leraren .....	35
Het bereiken van praktikumdoelen .....	37
Het experiment bepaalt de rangorde van praktikumdoelen .....	38
Praktikumdoelen volgens leerlingen en leraren .....	39
Praktikumdoelen en natuurwetenschappelijke methode .....	40
Praktikumdoelen volgens CITO .....	41
Praktikumdoelen volgens leraren in Nederland .....	43
Keuze van doelstellingenlijst .....	43
Praktikumdoelen en praktikumtoetsen .....	44
<b>Hoofdstuk 4. Praktikum en eindexamenprogramma</b> .....	45
Invoering van de mammoetwet .....	45
Het schoolonderzoek als 'proeftuin' .....	46
Het eindexamenprogramma direkt na de mammoetwet .....	47
Aankondiging van het praktikum schoolonderzoek .....	48

Praktikum schoolonderzoek in het examenprogramma .....	49
De huidige examenprogramma's natuurkunde .....	50
NVON en het huidige eindexamenprogramma .....	51
Geherformuleerd examenprogramma natuurkunde .....	52
Praktikum en eindexamenprogramma .....	55
<b>Hoofdstuk 5. Het onderzoek 'Praktikum schoolonderzoek natuurkunde'</b> .....	56
Enquête natuurkunde op havo- en vwo-scholen .....	56
Cijfers schoolonderzoek en centraal schriftelijk examen .....	57
Het samenwerkingsverband .....	60
Probleemstelling en doel van het onderzoek .....	61
De gevolgte onderzoeksstrategie .....	63
Iets over toetsen .....	64
Eenvoudige toets- en itemanalyse .....	65
De konstruktie van praktikumtoetsen .....	66
<b>Hoofdstuk 6. De gebruikte statistische methoden</b> .....	67
Gebruik van statistiek bij het onderzoek .....	67
Dataverwerking met SPSS .....	68
Eenvoudige statistische begrippen en bewerkingen .....	69
Korrelatie, regressie en kruistabellen .....	70
Multivariate analyse .....	72
Kanonieke korrelatie .....	73
Faktoranalyse .....	75
Hoofdkomponentenanalyse .....	76
<b>Hoofdstuk 7. Een manier van praktisch toetsen: de demonstratietoets</b> .....	80
De toetsen .....	80
Analyse decembertoets vwo .....	81
Analyse maarttoets vwo .....	84
De decembertoets voor havo .....	85
De maarttoets voor havo .....	87
Kanonieke korrelatierekening vwo .....	89
Kanonieke korrelatierekening havo .....	92
'Principal factor' analyse vwo .....	94
'Principal factor' analyse havo .....	97
Ervaringen en konklusies .....	98
<b>Hoofdstuk 8. De praktikumtoetsen voor het vwo</b> .....	100
De praktikumproeven .....	100
Analyse van praktikumproef 1 .....	103
Analyse van praktikumproef 2 .....	104
Kanonieke korrelatierekening met de twee praktikumproeven ...	106
'Principal facor' analyse met de twee praktikumproeven .....	108
Ervaringen met de praktikumproeven en konklusies .....	111



<b>Hoofdstuk 9. Praktikumtoetsen voor havo en vwo</b> .....	113
De vier proeven voor vwo .....	114
De vier proeven voor havo .....	115
Analyse van de vwo-toetsen .....	116
Analyse van de havo-toetsen .....	118
Kanonieke korrelaties vwo .....	119
Kanonieke korrelaties havo .....	121
'Principal factor' analyse vwo .....	123
'Principal factor' analyse havo .....	124
Ervaringen met de vier proeven .....	125
Konklusies .....	126
<b>Hoofdstuk 10. Toetsing van praktikumvaardigheden door middel van korte proeven</b> .....	128
De drie korte proeven .....	128
Analyse van de drie korte proeven .....	129
Kanonieke korrelatierekening met praktikumvaardigheden .....	131
'Principal factor' analyse met de korte proeven .....	132
Ervaringen en konklusies .....	133
<b>Hoofdstuk 11. Twee praktikumtoetsen en een korte proef voor havo en vwo</b> .....	135
De ontwikkelde proeven voor havo en vwo .....	135
Analyse van de vwo-toetsen .....	137
Analyse van de havo-toetsen .....	139
Kanonieke korrelatierekening vwo .....	140
Kanonieke korrelatierekening havo .....	142
'Principal factor' analyse vwo .....	143
'Principal factor' analyse havo .....	144
Korte enquête onder de leerlingen .....	145
Konklusies .....	148
<b>Hoofdstuk 12. Resultaten van het onderzoek, konklusies en aanbevelingen</b> .....	149
Betekenis van het samenwerkingsverband voor de leraren .....	149
Cijfers schoolonderzoek en centraal schriftelijk examen .....	150
De kwaliteit van de praktische toetsen .....	152
Onderscheid tussen praktische en schriftelijke toetsen .....	155
Onderscheid tussen doelstellingen van het natuurkundeonderwijs in het bijzonder van praktikum .....	157
Toetsing van praktikumdoelstellingen door middel van praktische toetsen .....	161
Praktikum in het schoolonderzoek .....	162
De CITO-doelstellingslijst .....	164
Praktikum schoolonderzoek in het eindexamenprogramma .....	165
Slotwoord .....	167

Literatuurlijst .....	168
Bronnen van de motto's .....	177
Summary .....	179
Curriculum Vitae .....	182

## **BIJLAGE**

I. Toetsen voor het havo en het vwo gedurende de cursus 1978/79 (bij hoofdstuk 7) .....	184
II. Praktikumtoetsen voor het vwo gedurende de cursus 1979/80, met normering (bij hoofdstuk 8) .....	207
III. Praktikumtoetsen voor het havo en het vwo gedurende de kur- sus 1980/81, met tips, normering en een korte enquête (bij hoofdstuk 9) .....	213
IV. Korte proeven voor het havo gedurende de cursus 1980/81 (bij hoofdstuk 10) .....	236
V. Praktikumtoetsen met een korte proef voor het havo en het vwo gedurende de cursus 1981/82, met tips, normering en een korte enquête (bij hoofdstuk 11) .....	240

## WOORD VOORAF

Graag wil ik allen bedanken die op één of andere wijze hebben bijgedragen aan de totstandkoming van dit proefschrift. Een aantal van hen wil ik met name noemen.

Hooggeleerde Steller, je hebt me in 1976 naar Eindhoven gehaald om binnen de opleiding tot leraar natuurkunde onderwijs- en onderzoekstaken te verrichten. Je hebt me veel 'zelfstandigheid en verantwoordelijkheid' gegeven waardoor het voor mij mogelijk was een eigen onderzoeksproject te starten. Je was steeds een prettige gesprekspartner en geïnteresseerd in het onderwerp. Toen ik je begin 1982 als promotor vroeg was je direct bereid deze klus op je te nemen. Je op- en aanmerkingen getuigden steeds van een grote betrokkenheid.

Hooggeleerde Steenland, je hebt altijd grote belangstelling getoond voor de activiteiten van de didactiegroep. Op het juiste moment bood je zelfs hulp met raad en daad. Met grote voortvarendheid heb je de taak van promotor op je genomen. Je zag steeds kans snel met waardevol commentaar te komen, hetgeen bevorderend was voor de voortgang. Je wijze kritiek gaf mij de ruimte.

Hooggeleerde heren Doornbos en Groen, jullie hebben voor twee stevige palen onder mijn bouwwerk gezorgd: een statistische en een didactische. Dank zij de nuttige gesprekken zijn veel oneffenheden weggenomen.

Jan Dijkstra en Jack Wijnen, op statistisch gebied heb ik gedurende het gehele onderzoek veel steun van jullie mogen ondervinden. Jullie antwoorden op vragen leidden vaak tot nieuwe suggesties en adviezen.

Jack, jij hebt bovendien de tekst grondig willen doorlezen. Daarbij had je gelukkig niet alleen oog voor de statistiek.

Cees de Lange, Rob van Doorn, Hans Huveneers, Emiel van Berkum, Constant Gordon, Martin Pluijm, Rens Oomen, Cas Maessen, jullie hebben me niet alleen de gelegenheid gegeven als (stage)begeleider op te treden, jullie hebben me ook geholpen met het ontwikkelen van proeven en met het computerwerk.

De technische medewerkers van het basisonderwijs, speciaal Rinus, jullie hebben me regelmatig daadwerkelijke steun verleend.

Marja Rooyakkers, jij hebt je vingers voor me uit de kom getypt, maar dat nooit laten merken. Je was altijd even opgewekt als ik bij je langs kwam.

Ruth Gruijters, je hebt op het laatste moment alle tekeningen nog eens op-  
nieuw gemaakt.

Ten slotte de natuurkundeleraren op de in het proefschrift genoemde  
scholen, we hebben prettig samengewerkt en jullie hebben me veel gege-  
vens verstrekt.



## INLEIDING

In 1965 schreef Steller in zijn proefschrift: 'er is in Nederland een groeiende belangstelling voor het natuurkundepracticum'.

Juist in de jaren zestig kwamen in Nederland mede naar aanleiding van de ontwikkelingen in Engeland en Amerika diskussies op gang over vernieuwing van het natuurkundeonderwijs. De invoering van de mammoetwet aan het eind van de jaren zestig en aan het begin van de jaren zeventig heeft ertoe geleid dat deze diskussies meer inhoud kregen. Er werden opnieuw doelstellingen van het natuurkundeonderwijs geformuleerd waarin het experiment een belangrijke rol toebedeeld kreeg. Er werden leerplannen en examenprogramma's opgesteld voor de nieuwe schooltypen mavo, havo en vwo. Er kwamen nieuwe natuurkundeleergangen op de markt waarin praktikum en theorie geïntegreerd opgenomen waren. De eindexamenopgaven kregen een ander karakter: de kandidaten werden in toenemende mate in een zo reëel mogelijk fysische situatie geplaatst en in eindexamenvraagstukken kwamen experimenten aan de orde die op school uitvoerbaar waren.

Deze ontwikkelingen hebben ertoe geleid dat kort na de invoering van de mammoetwet praktikum in de onderbouw eerder regel dan uitzondering was, terwijl veel leraren bezig waren met het opzetten van praktikum in de bovenbouw. De invoering van het schoolonderzoek opende nieuwe mogelijkheden van examineren in het kader van het eindexamen. Op veel scholen zijn experimenten gestart om praktikum in het schoolonderzoek voor natuurkunde op te nemen. Evaluatie van deze experimenten heeft nauwelijks plaatsgevonden.

Desalnietemin is in 1976 door het ministerie van Onderwijs en Wetenschappen een brief naar de scholen gestuurd met daarin naast de aankondiging van nieuwe eindexamenprogramma's voor mavo, havo en vwo de mededeling dat met ingang van de cursus 1981/82 leerlingenpraktikum een verplicht onderdeel van het schoolonderzoek natuurkunde op havo- en vwo-scholen dient te zijn. Op welke manieren dit zou kunnen gebeuren wordt aan de scholen zelf overgelaten. Hing tot dan toe het al of niet doen van praktikum uitsluitend af van de keus van de docent, met de invoering van het nieuwe examenprogramma is leerlingenpraktikum op de scholen een verplichting geworden.

In dit proefschrift wordt een aantal manieren beschreven waarop praktikum als onderdeel in het schoolonderzoek opgenomen kan worden. Er zijn praktische toetsen ontwikkeld die op enkele scholen gerealiseerd zijn. Ervaringen met de toetsen in de praktijk en analyse van de resultaten maken het mogelijk uitspraken te doen over de kwaliteit van de toetsen. Bovendien wordt aangetoond welke doelstellingen van het natuurkundeonderwijs speciaal bij het praktische schoolonderzoek toetsbaar zijn.

In hoofdstuk 1 wordt aangegeven op welke wijze de invoering van het prak-

tisch schoolonderzoek natuurkunde in Nederland voortvloeit uit en samenhangt met de ontwikkeling van het praktikum, speciaal het praktikum in de bovenbouw.

In hoofdstuk 2 wordt aan de hand van eigen ervaringen verteld over de eerste experimenten met betrekking tot praktische toetsen na de invoering van het schoolonderzoek en hoe leraren de ruimte in het schoolonderzoek benutten om anders te toetsen dan voorheen.

De aandacht voor doelstellingen van het onderwijs is vanaf de jaren vijftig sterk toegenomen.

In hoofdstuk 3 wordt aandacht besteed aan doelstellingenlijsten voor (natuurkunde) praktikum waarbij ik mij zoveel mogelijk beperk tot de doelstellingen die van belang zijn voor de praktische toetsing.

Hoofdstuk 4 handelt over de eindexamenprogramma's natuurkunde. Deze eindexamenprogramma's hebben een aantal malen achtereenvolgende wijzigingen ondergaan. In toenemende mate zijn in de doelstellingen behorend bij de programma's aspecten van de 'proefondervindelijke' natuurkunde opgenomen. De formuleringen geven geen duidelijkheid over de wijze waarop praktisch schoolonderzoek ingericht moet of kan worden.

De vier eerste hoofdstukken tonen vier wegen die leiden tot het onderzoek 'praktisch schoolonderzoek natuurkunde'.

In hoofdstuk 5 komt het onderzoek zelf aan de orde: de opzet, de organisatie en de probleemstelling.

Hoofdstuk 6 behandelt de gebruikte statistische methoden.

Daarna worden in hoofdstukken 7 t/m 11 de experimenten met praktisch schoolonderzoek besproken: de ontwikkeling van de toetsen, de realisatie op scholen, de analyses van de toetsen en de ervaringen met de toetsen.

In hoofdstuk 12 worden de konklusies van de experimenten gegeven. Op grond daarvan is het mogelijk aanbevelingen te doen voor de inrichting van het praktisch schoolonderzoek op havo- en vwo-scholen.

## Hoofdstuk 1

### DE ONTWIKKELING VAN PRAKTIKUM NAAR PRAKTIKUMTOETSEN

*Over natuurkunde lezen mocht wel,  
maar zelf doen vonden mijn ouders veel  
te gevaarlijk.*

*Feitelijk is de natuurkunde nooit iets  
anders dan een verzameling plaatjes  
voor mij gebleven: staalgravures, foto's.*

*Willem Frederik Hermans*

Het proces van invoering van leerlingenpraktikum op de scholen voor het middelbaar en voorbereidend hoger onderwijs is in Nederland na de tweede wereldoorlog met vallen en opstaan opnieuw op gang gekomen. In zijn eerste les als docent in de didactiek der natuurkunde houdt Krans [73]\* in 1949 een pleidooi voor praktikum dat 'kan leiden tot betere waardering voor technische prestaties' en merkt hij op dat 'de tijd aangebroken is voor een analyse, waarom nog zo weinig scholen deze praktische oefeningen hebben'. Bij dezelfde gelegenheid spreekt hij z'n teleurstelling uit dat zoveel docenten 'weigerend waren ten opzichte van de praktische oefeningen. Een enkeling was er vol verwachting mee begonnen, maar is er na een paar jaar mee opgehouden.'

Binnen de natuurkunde-sectie van Velines worden in de jaren daarop hevige discussies gehouden over de voor- en nadelen van praktikum. Tien jaar later, in 1959, betoogt Steller [111] dat leerlingen zonder praktikumervaring 'nooit kennis hebben gemaakt met een wezenlijk bestanddeel van de natuurkunde'. Het jaar daarop legt Steenland [109] uit dat 'natuurkunde-onderwijs aan de hand van het experiment gegeven dient te worden'. Bovendien doet hij de op dat moment revolutionaire uitspraak:

'op het eindexamen dient ook de kennis van instrumenten en het uitvoeren van eenvoudige natuurkundige proeven geëxamineerd te worden. Dit lijkt wel de enige uitweg om tot een algemeen gebruik van het schoolinstrumentarium en tot een algemene invoering van een schoolpracticum te komen. De op andere wijze uitgeoefende aandrang heeft tot dusver maar weinig resultaten opgeleverd. Door het op te nemen in de eindexameneisen zal het practicum zijn officiële erkenning verkrijgen.'

In 1965 zegt Steller [113] in zijn proefschrift 'Er is in Nederland een groeiende belangstelling voor het natuurkundepracticum, met name in de laatste vijf jaar is op vele scholen voor v.h.m.o. het practicum ingevoerd.' Dit gold overigens voornamelijk voor de onderbouw. Praktikum van enige om-

\* De tussen [] opgenomen nummers verwijzen naar de literatuurlijst op pagina 168.

vang in de bovenbouw bleef uitzondering. In zijn proefschrift beschrijft Steller twee toetsen waarmee hij onderzocht heeft of er verschil in fysisch inzicht bestaat tussen de leerlingen van praktikumscholen en de leerlingen die niet zelf natuurkundeproeven hebben gedaan. De twee toetsen bestaan beide uit de uitvoering van een eenvoudige proef en de beantwoording van vragen naar aanleiding van deze proef. De toetsen zijn afgenomen in 5 HBS-klassen.

Hoewel Steller beweert dat het beslist niet de bedoeling was te onderzoeken welke groep leerlingen het handigste kon manipuleren met de apparaatuur was toch de konfrontatie van leerlingen met een reëel fysisch verschijnsel tijdens de toetsing een nieuw element.

Enkele jaren later vertelt Krans [74] tijdens een voordracht 'De kans op een zuiver experimenteel deel van het eindexamen natuurkunde is in Nederland niet groot.' In Engeland kende men het praktisch examen wel. Ook in Duitsland werd de vorm wel toegepast dat de examinerende leraar een experiment voor de eindexamenkandidaten uitvoerde, waarbij deze hun gegevens aflazen en noteerden. Daarna werd de proef uitgewerkt. Voor het verwante vak scheikunde was men in Nederland inmiddels de mening toegedaan dat een praktisch eindexamen prioriteit had boven het mondeling [103]. Ondanks de pessimistische woorden van Krans met betrekking tot het betrekken van het experiment bij het eindexamen laten Steller en Zandstra [116] een aantal mogelijkheden zien om zinvolle fysische probleemstellingen te maken door gebruik te maken van TV, film en foto's bij examenopgaven. Verder toont Steller [114] aan de hand van een aantal voorbeelden aan op welke wijze praktikum in een proefwerk betrokken kan worden.

### **Invoering schoolonderzoek**

Wanneer begin 1970 het besluit valt om bij de in 1971 af te nemen examens havo het mondeling te vervangen door het z.g. schoolonderzoek wordt direct gezocht naar mogelijkheden om tot verbetering en uitbreiding van toetsingsmethoden te komen.

In het kader van het experiment 'schoolonderzoek natuurkunde havo' (zie hoofdstuk 2) zijn gedurende de cursussen 1971/72 en 1972/73 in totaal vier praktikumtoetsen en vier demonstratietoetsen ontwikkeld en op een aantal scholen getest. In de voorstellen betreffende het eindexamen havo geeft de CMLN [23] op grond van de ervaringen de suggestie om één tentamen van het schoolonderzoek in te richten als praktikum. Auer en Steller [134] vertellen de Nederlandse leraren natuurkunde op de Woudschotenkonferentie in december 1974 dat het schoolonderzoek waarin demonstratieproeven of praktikumproeven opgenomen zijn, veelal betere gelegenheden biedt dan een schriftelijk examen om complexe doelstellingen van het natuurkundeonderwijs te toetsen. Zij beweren dat er bij de schoolonderzoeken met experimenten meer aspecten van de natuurwetenschappelijke onderzoeksmethode aan de orde kwamen dan bij de centraal schriftelijke eindexamens van de afgelopen jaren.



## Landelijke activiteiten

Intussen kwamen ook landelijk de discussies op gang op welke wijze praktisch werk bij de lessen natuurkunde in de bovenbouw havo en de bovenbouw vwo ingepast kon worden. Een kleine enquête over praktikum natuurkunde in 1973 [123] leverde op dat in de bovenbouw veel minder praktikum gedaan werd dan in de onderbouw. Als belangrijkste oorzaak werd aangevoerd: geen of onvoldoende materiaal. De landelijke activiteiten waren dan ook meestal gericht op de vragen [89]:

- hoe organiseer je praktikum in de bovenbouw?
- hoe kom je aan materiaal?
- hoe gebruik je het beschikbare demonstratiemateriaal?
- hoe maak je handleidingen en hoe evalueer je?

Na twee landelijke konferenties over het onderwerp werd in 1975 de vakantiekursus 'praktikum bovenbouw' [106] georganiseerd. Zowel voor de konferenties als voor de vakantiekursus was de belangstelling van de Nederlandse leraren natuurkunde groot. Daarnaast waren de leraren ook actief in de regionale kringen natuurkunde vwo-havo van de Nederlandse Vereniging voor het Onderwijs in de Natuurwetenschappen. Er werden veelvuldig ontwikkelde praktika en praktikumtoetsen uitgewisseld en er werd gediscussieerd over de doelstellingen van praktikum in de bovenbouw.

Tijdens de vakantiekursus heeft Schröder [105] uitvoerig aandacht besteed aan 'de functie van het praktikum in de leerstofopbouw'. Deelnemende leraren hebben in werkgroepen de verschillende aspecten van praktikum geanalyseerd aan de hand van van te voren ingebracht materiaal. Door enkele deelnemers zijn ook voor anderen bruikbare proeven ingezonden. Ook is een aantal praktikumopgaven voor schoolonderzoek ingebracht.

Tijdens de cursus is gepleit voor een zodanig examenprogramma natuurkunde dat genoeg lestijd voor praktisch werk beschikbaar komt. Bovendien is het vermoeden uitgesproken dat praktikum vanaf 1982 een verplicht onderdeel van het schoolonderzoek zou zijn. In het verslag van de cursus worden ook de praktische examens gepresenteerd die in Engeland gebruikt zijn bij het Nuffield A-level examen van 1971 t/m 1974. Het praktische werk bestaande uit acht korte proeven past in het centraal geregeld examensysteem. Daarnaast is in het A-level examensysteem 'onderzoek' opgenomen. Dit 'onderzoek' vindt plaats op de scholen tijdens de cursus. Er worden twee experimenten uitgevoerd. Elk experiment duurt ongeveer een week. De docenten op de scholen beoordelen dit werk zelf.

## Praktikum schoolonderzoek verplicht

In augustus 1976 is door het Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen een brief [92] naar de scholen gestuurd met het nieuwe examenprogramma natuurkunde voor mavo, havo en vwo. In de brief wordt tevens aangekondigd dat met ingang van 1982 leerlingenpraktikum een verplicht onderdeel

van het schoolonderzoek natuurkunde dient te zijn. Tot 1982 had men de gelegenheid ervaring op te doen met praktikum schoolonderzoek. Bovengenoemde aankondiging heeft een zeer positieve invloed gehad op de ontwikkeling van praktikum in de bovenbouw en praktikum schoolonderzoek. Tot 1976 hing het doen van praktikum in de bovenbouw en het betrekken van praktikum in het schoolonderzoek nog af van de keuze van de individuele docent of van de natuurkundesectie van een school. Na 1976 waren meer natuurkundeleraren bereid ervaring op te doen en naarmate het tijdstip van verplichte invoering naderde groeide de belangstelling.

### **Ontwikkeling van praktikumtoetsen door CITO**

Ook het CITO (Centraal Instituut voor Toetsontwikkeling) is met de ontwikkeling van praktikumtoetsen gestart. De belangrijkste randvoorwaarden waaraan de toetsen van het CITO moeten voldoen zijn:

- de te konstrueren toetsen moeten in principe bruikbaar zijn voor alle scholen van het beoogde type in het land,
- de toetsen moeten objektief beoordeelbaar zijn.

In de jaren 1977 en 1978 is een drietal toetsen ontwikkeld, elk bedoeld voor een blokuur (100 minuten).

Bij het opstellen van de vragen van de toetsen is uitgegaan van de doelstellingen, die Swain [118] heeft opgesteld voor het praktikum. De toetsen verlopen zoals een experiment in de natuurwetenschappen: eerst de voorbereiding, dan de uitvoering en ten slotte de uitwerking van de resultaten. De toetsen bestaan uit drie delen. Wanneer een leerling de vragen of opdrachten van deel 1 gedaan heeft, dan krijgt hij deel 2 enz. De antwoorden op de vragen van een voorafgaand deel kunnen van invloed zijn op de vragen van het volgende deel. Daarom worden de korrekte antwoorden op de vragen uit het voorafgaande deel gegeven nadat dit deel ingeleverd is.

In de loop van 1977 is bij het CITO een onderzoeksprojekt gestart [67] met als centrale vraagstelling welke mogelijkheden er zijn om voor de vakken scheikunde, natuurkunde en biologie in de bovenbouw havo en vwo praktikumtoetsen te ontwikkelen. In het kader van dit projekt zijn o.a. praktikumdoelstellingen geformuleerd [20] en middels een enquête aan leraren voorgelegd (zie hoofdstuk 3). De toetsontwikkelaars voor natuurkunde waren inmiddels overgegaan op de ontwikkeling van een z.g. cirkustoets. De cirkustoets onderscheidt zich van de tot dan toe door het CITO ontwikkelde praktikumtoetsen doordat elke leerling bij roulatie een aantal korte experimenten moet doen. Deze experimenten komen uit verscheidene gebieden van de natuurkunde en proberen ook verschillende vaardigheden te toetsen. De eerste ontwikkelde cirkustoets bestaat uit acht experimenten, elk bedoeld voor 20 minuten [19].

### **Woudschotenkonferentie**

Het thema van de Woudschotenkonferentie in 1977 was: 'Het eindexamen

natuurkunde voor vwo en havo; schoolonderzoek en CSE' [135]. Op de konferentie is zowel in de lezingen als in de werkgroepen de meeste aandacht besteed aan praktikum schoolonderzoek. Veel voorbeelden van praktikumtoetsen zijn ingebracht en verwerkt in het konferentieverslag. Ook regionaal zijn veel praktikum-schoolonderzoeken gebundeld en uitgewisseld [65]. In samenwerkingsverbanden (zie ook hoofdstuk 5) hebben groepen scholen geëxperimenteerd met praktikum schoolonderzoek.

### Landelijke enquête en leerlingenpraktikum

Eind 1978 is door Ellermeijer en Verkerk [43] een enquête naar de natuurkundesekties van de havo- en vwo-scholen gestuurd met het doel de situatie op dat moment met betrekking tot praktikum in de bovenbouw en praktikum schoolonderzoek te inventariseren. Van 325 scholen (ca. 60%) is de enquête ingevuld terug ontvangen. Hier volgen enkele konklusies uit de enquête met betrekking tot leerlingenpraktikum.

*1. De leraren natuurkunde kennen praktikum in de onderbouw een belangrijker plaats toe dan praktikum in de bovenbouw, maar vrijwel niemand is tegen praktikum in de bovenbouw.*

Gevraagd naar de beste verhouding praktikum/theorie gaven de invullers hun mening volgens een vijfpuntsschaal waarbij 1 aangeeft '(bijna) alleen praktikum' en 5 '(bijna) alleen theorie' op de volgende wijze:

Tabel 1: mening over leerlingenpraktikum

	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %
onderbouw	3	26	50	20	0
bovenbouw	0	3	24	71	2

Ook de gemiddelde score voor onder- en bovenbouw leidt tot dezelfde konklusie: onderbouw gemiddeld 2,9; standaarddeviatie 0,8

bovenbouw gemiddeld 3,7; standaarddeviatie 0,6.

Gezien de kleinere spreiding is men wat de bovenbouw betreft eenstemmiger over de beste verhouding praktikum/theorie dan met betrekking tot de onderbouw. Toch vindt 2% leerlingenpraktikum in de bovenbouw nog niet nodig. Een enquête van de CMLN gehouden gedurende de cursus 1976/77 [24] leverde de volgende waardering door havo/vwo leraren van het leerlingenpraktikum in de bovenbouw:

- 65% vindt praktikum noodzakelijk,
- 32% vindt praktikum niet nodig, wel nuttig,
- 3% vindt praktikum niet nodig.

2. *De meeste natuurkundeleraren (91%) beweren dat het leerlingenpraktikum in de bovenbouw op hun school nog verder opgebouwd moet worden.*

3. *De leraren natuurkunde vinden 'het gebrek aan tijd in de lessen' de belangrijkste belemmering voor de invoering van leerlingenpraktikum in de bovenbouw.*

Het eindexamenprogramma wordt in het algemeen door de natuurkundeleraren zeer omvangrijk of te omvangrijk genoemd. Dit wordt nog steeds gehoord op regionale en landelijke bijeenkomsten van natuurkundeleraren. Kennelijk vinden velen dat praktikum een handicap is om met het programma in de bovenbouw klaar te komen. Men heeft moeite met integratie van praktikum en theorie in de bovenbouw. Opmerkelijk is dat de leraren van scholen met in totaal meer uren natuurkunde in de lessentabel (minstens) even hard klagen over gebrek aan tijd in de lessen als de anderen met minder uren.

4. *De leraren natuurkunde vinden 'het gebrek aan tijd voor de leraar' de op één na belangrijkste belemmering voor de invoering van leerlingenpraktikum in de bovenbouw.*

De natuurkundeleraar voelt zich zwaar belast. Hij moet naast zijn volledige leraarsbaan ook nog praktikum opzetten en daarna het praktikum blijven runnen. Zowel het één als het ander kost extra tijd. Met taakuren kan wel eens wat gekompenseerd worden, maar ook andere sekties maken aanspraak op het aan de school toegewezen beperkte aantal taakeenheden. En waarvoor zijn taakuren eigenlijk bedoeld? Wat zijn eigenlijk werkzaamheden die niet behoren tot de onder de leseenheden begrepen werkzaamheden en de algemene voor elke leraar uit het schoolonderwijs voortvloeiende taken? Eigenlijk zou de natuurkundeleraar die demonstratieproeven ontwikkelt, praktika en praktikum schoolonderzoeken opzet en organiseert en z'n amanuensis begeleidt minder leseenheden in z'n volledige baan moeten hebben.

5. *De tijd besteed aan leerlingenpraktikum bedroeg in de bovenbouw gedurende de cursus 1977/78 gemiddeld ca. 6% van de lestijd (dit is ongeveer één uur praktikum in de maand).*

Er is geen significant verschil te zien tussen het aantal lesuren praktikum in de eindexamenklassen en de andere bovenbouwklassen. Ook is het totaal aantal uren natuurkunde in de lessentabel niet van invloed op het doen van leerlingenpraktikum op de scholen. De spreiding met betrekking tot het doen van leerlingenpraktikum in de bovenbouw was enorm. Er waren scholen (ca. 5%) waar meer dan 30% van de lestijd in de bovenbouwklassen besteed werd aan leerlingenpraktikum. Op andere scholen (ca. 15%) werd in het geheel (nog) geen leerlingenpraktikum in de bovenbouwklassen georganiseerd.

*6. In de bovenbouw is de meest gebruikte praktikumvorm het klassikale praktikum geïntegreerd met de theorie.*

Dit blijkt vooral het geval te zijn in vwo 4 en havo 4. Met name in havo 5 blijkt ook klassikaal praktikum na de theorie veel voor te komen. Het stationspraktikum, een roulatiesysteem waarbij de leerlingen in willekeurige volgorde een aantal proeven doen (hierbij wordt dikwijls gebruik gemaakt van demonstratieapparatuur), komt in vwo 5 en vwo 6 zeer veel voor. Klassikaal praktikum als introductie op de theorie is een weinig gebruikte vorm in de bovenbouw.

*7. Het beschikbare budget voor de natuurkundesektie om te besteden aan praktikum- en demonstratieapparatuur bedroeg in 1978 gemiddeld f 2.500,-.*

Op 22% van de scholen waren er daarnaast mogelijkheden om via bestuur of gemeente extra gelden te krijgen voor speciale aanschaffingen. Voor 39% van de scholen waren die mogelijkheden er niet. Voor de andere scholen (39%) was het in principe mogelijk maar wel erg moeilijk om extra geld te krijgen.

Ten opzichte van een gemiddeld totaal budget van f 2.500,- hebben de Rijksscholen een duidelijke afwijking. De natuurkundesektie kreeg daar gemiddeld ca. f 1.300,-. De protestant christelijke scholengemeenschappen gaven met een gemiddelde van ca. f 3.000,- hun natuurkundesektie meer ruimte. Het totale budget van de natuurkundesektie bleek niet af te hangen van het totale leerlingenaantal van de school.

## **Landelijke enquête en praktikum schoolonderzoek**

Vervolgens worden enkele konklusies uit de enquête met betrekking tot praktikum schoolonderzoek gegeven.

*1. Op 41% van de scholen was gedurende de cursus 1977/78 praktikum in het schoolonderzoek opgenomen.*

Op de meeste scholen waar praktikumopdrachten in het schoolonderzoek opgenomen waren telde dit redelijk volwaardig mee (voor 1/6 tot 1/3 deel). Een enkele docent heeft het aangedurfd om het voor meer dan 1/3 deel mee te laten tellen.

*2. Slechts op een kleine meerderheid van de scholen was de organisatievorm van het praktische schoolonderzoek zo, dat de leerlingen individueel getoetst zijn.*

In tabel 2 zijn de gebruikte organisatievormen van het praktikum schoolonderzoek ingedeeld in zes groepen. Bij elke vorm is het aantal scholen (in %) aangegeven dat het praktikum schoolonderzoek op deze manier georganiseerd heeft.

Tabel 2: Organisatievormen praktikum

organisatievorm	aantal scholen (%)
klassikale toets (CITO)	11
individueel dezelfde proeven	19
individueel verschillende proeven	32
gewoon praktikum/onderzoekje	28
groepswerk	5
anders, vaak combinaties	5

Voor de klassikale toets is vaak gebruik gemaakt van door het CITO ontwikkelde praktikumtoetsen. Hierbij moeten de kandidaten individueel allemaal dezelfde proef doen. Daarbij wordt een aantal opdrachten uitgevoerd respectievelijk vragen beantwoord. Bij de organisatievorm 'individueel dezelfde proeven' is de opzet analoog, alleen wordt daar een schriftelijk en/of mondeling verslag gevraagd. Bij de organisatievorm 'individueel verschillende proeven' krijgt de leerling een proef toegewezen of moet de leerling zelf een proef uitkiezen. Ook hier wordt een mondeling en/of schriftelijk verslag gevraagd. Bij deze organisatievorm kan de proef aangepast worden aan het niveau en de belangstelling van de leerling. Vaak is ook 'gewoon praktikum' gedaan met een min of meer open opdracht. De leerlingen werken meestal met z'n tweeën en kunnen zich thuis of op school prepareren. Het verslag eventueel met mondelinge toelichting wordt beoordeeld. Groepswerk wordt slechts op enkele scholen gedaan. Onder 'groepswerk' wordt verstaan: praktikum in grotere groepen resulterend in een groepsverslag.

*3. In 1978 was het gemiddelde percentage onvoldoenden voor het praktische schoolonderzoek lager dan voor het totale schoolonderzoek of voor het centraal schriftelijk eindexamen.*

Op het havo was het gemiddelde percentage onvoldoenden voor het schoolonderzoek 26% en voor het centraal schriftelijk examen 25%. Voor het praktische schoolonderzoek was dit 14%.

Op het vwo waren de gemiddelde percentages onvoldoenden respectievelijk 21%, 26% en 11%. Een mogelijke oorzaak voor het duidelijk lagere percentage onvoldoenden voor het praktische schoolonderzoek zou kunnen zijn dat docenten nog wat voorzichtig beoordeeld hebben om hun kandidaten niet te duperen bij het opdoen van ervaring met praktisch schoolonderzoek. Bovendien worden bij het praktisch schoolonderzoek andere vaardigheden getoetst, hetgeen tot minder onvoldoenden aanleiding gegeven kan hebben.

In de enquête is de leraren gelegenheid gegeven opmerkingen te maken over praktikum in de bovenbouw en praktikum schoolonderzoek. Sommige leraren geven hun mening over de organisatie van het praktische schoolonderzoek, anderen over de manier waarop het praktikum schoolonderzoek gedaan zou moeten worden. Men waarschuwt dat het praktische schoolon-

derzoek geen eerstejaarspraktikum moet worden. Het gaat niet om ingewikkelde opstellingen maar om inzicht in praktische situaties. Het is beter een leerling een eenvoudige onvoorbereide proef te laten doen dan een moeilijke proef met voorbereiding.

### Situatie na 1978

Hoewel de enquête een goed beeld gaf van de situatie met betrekking tot praktikum en praktisch schoolonderzoek in 1978 is deze situatie daarna snel veranderd. Hierover leverde een enquête, gehouden door de NVON [130] informatie.

Volgens onze enquête was de deelname in 1978 41%, volgens de NVON-enquête in 1979 47%. Volgens laatstgenoemde enquête was 60% van plan in 1980 praktikum in het schoolonderzoek op te nemen. De inzenders die geen praktisch schoolonderzoek deden hebben de volgende redenen opgegeven:

- praktikum nog in opbouw 62%
- geen materialen, geld en/of ruimte 25%
- zelf niet voldoende ingewerkt 9%
- tegen praktisch schoolonderzoek 4%.

De versnelde ontwikkeling van praktikum schoolonderzoek waren nodig in verband met de verplichte invoering in 1982 en werden mogelijk gemaakt door de actieve betrokkenheid van leraren natuurkunde. Er werden praktika en praktikumtoetsen gebundeld door NVON kringen maar ook door natuurkundendidatiekafdelingen van universiteiten en hogescholen [15]. Het moge uit het voorafgaande duidelijk zijn dat de invoering van praktikum in de bovenbouw nooit zo snel en op zo grote schaal gerealiseerd zou zijn zonder de verplichting van praktikum bij het schoolonderzoek.

## Hoofdstuk 2

### EIGEN ERVARINGEN MET PRAKTIKUM SCHOOLONDERZOEK

*Was an der eigenen Existenz bedeutsam ist, wird uns selber kaum bewußt und sollte die Mitmenschen gewiß nicht kümmern. Was weiß ein Fisch vom Wasser, in dem er sein Lebtage herumschwimmt.*

*Albert Einstein*

In mijn loopbaan als leraar natuurkunde op het Marnix College te Ede heb ik de invoering van de mammoetwet in de praktijk op de school meegeemaakt. Van begin af aan heb ik in overleg met sekte en schoolleiding de vorm en inhoud van het schoolonderzoek zo kunnen regelen dat praktikum als onderdeel opgenomen was. Men had op de school met betrekking tot het schoolonderzoek voor alle vakken gekozen voor een systeem, dat zo min mogelijk afweek van de normale, voor de leerlingen vertrouwde, gang van zaken. D.w.z. de schoolonderzoekcijfers werden zoveel mogelijk bepaald via het systeem van repetities, mondelinge en schriftelijke overhoringen, werkstukken etc. Daarnaast kon men voor een vak speciale activiteiten plannen in twee tentamenperiodes. In de volgende punten wordt besproken op welke manieren praktikum opgenomen was in het schoolonderzoek natuurkunde.

#### Gewoon praktikum

In de loop van de jaren is een aantal proeven met daarbij behorende instructies ontwikkeld die geschikt waren voor klassikaal bovenbouwpraktikum. Ook leerlingen van de eindexamenklas voerden in groepjes van 2 à 3 een aantal proeven van één lesuur uit. Elke leerling maakte thuis individueel een verslag. Deze verslagen werden nagekeken en de cijfers telden mee voor het schoolonderzoek.

Daarnaast bezocht het Projekt Ioniserende Straling [60] jaarlijks de school met een groot aantal opstellingen en bijbehorende instructies [34]. Elke leerling van de eindexamenklas voerde alleen of met partner minstens twee experimenten uit. Van één proef maakte hij een verslag. De beoordeling hiervan telde mee voor het schoolonderzoek. Het feit dat praktikum een rol speelde bij de beoordeling voor het eindexamen droeg er toe bij dat leerlingen het zelf doen van proeven zeker niet als een tweederangs bezigheid zagen. Praktikum werkte bovendien motiverend. Er zijn twee bezwaren tegen het betrekken van cijfers voor praktikumverslagen in het school-



onderzoek. In de eerste plaats zijn de cijfers niet objectief (zie hoofdstuk 5). Beoordeling vindt plaats op een aantal niet duidelijk omschreven criteria bepaald door de docent. Ten tweede zijn de cijfers niet diskriminerend. De leerlingen hebben in de voorafgaande jaren veel praktikum gedaan, ze hebben zich eigen gemaakt hoe ze volgens vaste regels een verslag moeten maken en alle verslagen krijgen dus vrijwel dezelfde beoordeling.

Op zich zijn bovengenoemde bezwaren geen reden om de cijfers voor verslagen niet mee te tellen voor het schoolonderzoek. Er zijn in het schoolonderzoek genoeg andere wel objectieve en wel diskriminerende toetsen opgenomen.

### Demonstratie- en praktikumtoetsen met beoordeling achteraf

In de voorzomer van 1970 is het besluit gevallen om bij de in 1971 af te nemen examens havo en mavo het mondelinge gedeelte te laten vervallen en te vervangen door het schoolonderzoek [95]. Ten einde de scholen bij de besluitvorming ten aanzien van de inrichting van dit schoolonderzoek behulpzaam te kunnen zijn is voor natuurkunde een begeleidingskommissie schoolonderzoek ingesteld. In een discussienota [26] gaf de commissie als één van de toetsingsmogelijkheden voor havo aan: 'Onderzoek naar de vaardigheid om van een eenvoudig maar niet tot de minimumstof behorend kwantitatief experiment een schriftelijk verslag uit te brengen.'

In een artikel in Faraday [9] stelt de commissie dat een dergelijk onderzoek uitgebreid kan worden door de leerling een aantal vragen te laten beantwoorden die een natuurlijke samenhang met de uitgevoerde of waargenomen proef vertonen. Er wordt daarbij verwezen naar een artikel van Steller [114]. Er worden ook drie voorbeeldtoetsen gegeven: één praktikumproef en twee demonstratieproeven. Op het eind van het artikel worden leraren natuurkunde opgeroepen medewerking te verlenen aan een experiment om de betrouwbaarheid en validiteit van de nieuwe toetsingsmethode vast te stellen.

Van 1971 af heeft het Marnix College geparticipeerd in het experiment praktisch schoolonderzoek. Eind 1971 is op de scholen ervaring opgedaan met praktische toetsen van één lesuur, zowel door de leraren als door de 5 havo leerlingen. In januari 1972 en in april 1972 is een aantal nieuw ontwikkelde toetsen voor één lesuur op de scholen gerealiseerd.

- januari* — serie demonstratieproeven over resonantie van slingers, veren en luchtkolom.
- praktikumproef met een speelgoedvliegtuigje opgehangen aan een touwtje. Het vliegtuigje kan een cirkelbaan beschrijven.
- april* — serie demonstratieproeven over fotoelektrisch effect met een elektroscop waarop een koperen of zinken plaat bevestigd kan worden.
- een aantal praktikumproeven over geometrische optika met eenvoudig materiaal.

De demonstratieproeven werden op de verschillende experimenteerscholen gedemonstreerd door dezelfde demonstrator die steeds dezelfde tekst uitsprak. De leerlingen moesten individueel waarnemen en een aantal vragen beantwoorden. Ook bij de praktikumproeven werkten de leerlingen individueel. De toetsen zijn geanalyseerd met behulp van de taxonomie van Klopfer [71,7]. Hoewel de opgaven van het experiment-schoolonderzoek niet samengesteld waren op grond van scherp omschreven doelstellingen bleken de opdrachten toch meer kategoriën te toetsen dan de schriftelijke eindexamens voor havo in de voorafgaande jaren [25]. Bovendien was de verdeling van de doelstellingskategoriën over de toetsen evenwichtiger dan bij de examens.

Ook voor de cursus 1972/73 zijn in totaal vier proeven ontwikkeld en door de havo-leerlingen op de aan het experiment deelnemende scholen gemaakt.

*januari* – demonstratieproef over mechanica met luchtkussenvoertuig op rail en ticker-timer.

– praktikumproef over statika met een hefboom die niet in zijn zwaartepunt is opgehangen.

*april* – demonstratieproef over lorentzkrachten met een hallplaatje.

– praktikumproef met de massaschommel waarbij uit een grafiek de eigen massa bepaald moest worden.

De organisatie verliep op dezelfde wijze als in de vorige cursus. Analyse volgens Klopfer leverde ook nu de eerder genoemde konklusies terwijl een aantal uitgevoerde statistische bewerkingen aantoonde dat de toetsen goed voldeden aan een aantal criteria [128].

Het experiment schoolonderzoek gedurende de cursussen 1971/72 en 1972/73 is volgens de deelnemende leraren in het algemeen bevredigend verlopen. Zij hadden grote waardering voor de ontworpen demonstraties en praktika. Wel zijn de resultaten dikwijls tegengevallen.

Oorzaken waren:

– de methode van toetsen was voor de leerlingen nieuw.

– de gebruikte apparatuur was voor de leerlingen vaak nieuw. Dit verschilde nogal van school tot school.

– de onderwerpen die aan de orde kwamen waren vaak (nog) niet voldoende behandeld.

– doordat de beoordeling achteraf plaatsvond gebeurde het vaak dat leerlingen vastliepen wanneer zij in het begin op een verkeerd spoor terecht kwamen. De hele toets werd dan voor hen een fiasko.

Overigens werden de leerlingen in het algemeen niet gedupeerd doordat de leraar deelnam aan het experiment schoolonderzoek. De leerlingen deden ervaring op met de toetsmethoden. Zij kregen een beter inzicht in hun sterke en zwakke punten. Bovendien telde de beoordeling voor een mislukte toets niet of nauwelijks mee voor het schoolonderzoek. Dit werd overigens aan de leraar van elke school overgelaten.

In de volgende jaren is op het Marnix College verder geëxperimenteerd met bovengenoemde toetsmethoden. Er zijn nieuwe toetsen ontwikkeld en de reeds ontwikkelde toetsen zijn hier en daar wat verbeterd. De toetsen zijn gebruikt in de eindexamenklassen havo en vwo in het kader van het schoolonderzoek. Ook zijn de toetsen gebruikt in andere bovenbouwklassen zodat de leerlingen uit de pré-examenklassen al ervaring konden opdoen met praktische toetsen. Steeds is de stelregel gehanteerd dat leerlingen niet de dupe mogen worden van de experimenten van hun docent. Het gevolg was dat leerlingen een zeer positieve instelling toonden tegenover een nieuw ontwikkelde praktische toets.

Vooraf de demonstratietoets bleek zeer gemakkelijk te organiseren in een klas. Er is slechts één opstelling nodig. Elke leerling kan individueel waarnemen en een aantal vragen beantwoorden. De praktikumtoets is wat moeilijker te realiseren. Individueel experimenteren vereist voldoende opstellingen. Het praktikummateriaal zal dus eenvoudig moeten zijn.

### **Demonstratie- en praktikumtoetsen met beoordeling tijdens de uitvoering**

Het bezwaar van de eerder beschreven toetsmethoden dat leerlingen vastlopen doordat ze op een verkeerd spoor terecht gekomen zijn kan ondervangen worden door de leerlingen te beoordelen terwijl ze bezig zijn. Wanneer een leerling een onderdeel af heeft, wordt dit door de leraar beoordeeld en zondig wordt het goede antwoord of een goede meetserie verstrekt zodat de leerling verder kan. De organisatie van deze toetsmethode is wat moeilijker doordat een leraar maximaal 6 leerlingen tegelijk begeleiden kan. Daardoor kon het praktisch schoolonderzoek niet plaatsvinden gedurende een gewoon lesuur in het laatste schooljaar maar moest gekozen worden voor een tentamenperiode. De tentamenperiode in december 1975 bleek erg geschikt om de havo en vwo leerlingen individueel praktisch te toetsen. Elke leerling kreeg 2½ uur: 1¼ uur voor een praktikumtoets en 1¼ uur voor een demonstratietoets.

Zowel voor vwo als voor havo waren er twee dagen beschikbaar. Bovendien werden steeds twee lokalen gebruikt. Voor elk schooltype waren twee vrijwel gelijkwaardige praktikumtoetsen en twee vrijwel gelijkwaardige demonstratietoetsen ontwikkeld: één praktikumtoets en één demonstratietoets voor één dag. Op die dag begon 9.30 uur een groepje van ca. 6 leerlingen individueel met de praktikumtoets in het ene lokaal en een groepje van ca. 6 leerlingen individueel met de demonstratietoets in het andere. 10.45 uur werd van lokaal gewisseld en om 12.00 uur kwamen twee groepjes nieuwe leerlingen. Op één dag werden dus 24 leerlingen van één schooltype geëxamineerd zonder dat contact mogelijk was. Een volgende dag werd evenzo gewerkt met een andere praktikumtoets en een andere demonstratietoets. In elk lokaal was voortdurend één docent aanwezig terwijl de examinator en de amanuensis mobiel waren. Tijdens de toets kon de leerling voortdurend beoordeling van een onderdeel of assistentie bij een onderdeel vragen.

Hij kon dan verder omdat, ofwel het antwoord op het onderdeel goed was, ofwel het goede antwoord gegeven werd door de docent. Bij onduidelijke beantwoording kon een korte toelichting gevraagd worden. Goede afspraken met kollega's en duidelijke normering vooraf waren hiervoor nodig. Bovendien moest bij een dergelijk systeem het aantal leerlingen per groepje niet te groot zijn. Omdat dit systeem van praktisch examineren gedurende de cursus 1975/76 voor het eerst draaide, kon men aan de cijfers niet direct al te groot gewicht toekennen.

Toch is het experiment voor leraren en leerlingen zeer bevredigend verlopen. De vier ontwikkelde proeven voor vwo hadden in het algemeen meer nieuwe aspecten dan de proeven voor havo [135, 66].

Hieronder volgt een korte beschrijving van de ontwikkelde proeven:

- Een niet ideale voltmeter en een ideale voltmeter (demonstratieproef vwo, eerste dag).

De bronspanning van een element van Volta wordt gemeten met een gewone (draaispoel-) voltmeter en met behulp van een Pogendorf compensatieschakeling.

- Thermokoppels (praktikumproef vwo, eerste dag).

Er wordt een aantal thermokoppels gemaakt. Hierna moeten de leerlingen de thermospanning ten gevolge van een kaarsvlam berekenen nadat de thermostroom met behulp van een milliampèremeter bepaald is.

- Een lichtvlekgalvanometer als voltmeter (demonstratieproef vwo, tweede dag).

De schakeling van de lichtvlekgalvanometer wordt aan de leerlingen duidelijk gemaakt. De spanningsgevoeligheid op de verschillende schaalbereiken wordt bepaald en vervolgens wordt de galvanometer gebruikt als gevoelige spanningsmeter voor het meten van kleine thermospanningen.

- Een element opladen (praktikumproef vwo, tweede dag).

Twee koperplaten bevinden zich in een verzadigde zinkchloride oplossing. Door gedurende enige tijd een stroom door de oplossing te sturen wordt één van de platen verzinkt. De leerlingen laten nu het verkregen element van Volta elektrische energie leveren. Vervolgens berekenen zij het rendement (ca. 20%).

- Bepaling van de voortplantingssnelheid van het geluid in verschillende gassen (demonstratieproef havo, eerste dag).

Hoewel de proef van Kundt slechts kwalitatief tot de eindexamenstof voor het havo behoort wordt hier toch dieper op deze proef ingegaan. De noodzakelijke formules worden echter gegeven.

De buis wordt achtereenvolgens gevuld met lucht, methaan, koolzuurgas en waterstof.

- Heen en weer (praktikumproef havo, eerste dag).

In principe is de slingerproef bekend aan havo-leerlingen. Hier wordt echter dieper op de proef ingegaan dan bij de behandeling. Uit een grafiek waarin  $T^2$  uitgezet is als functie van de slingerlengte  $l$  moeten de leerlingen een aantal konklusies trekken.

- Frekwentie-bepaling (demonstratieproef havo, tweede dag).

De drie proeven zijn bedoeld om onafhankelijk van elkaar de frekwentie van een stemvork te bepalen:

- A. de toon van de stemvork wordt via een mikrofoon en een versterker door een stoffiguur geregistreerd samen met een 50 Hz signaal [51].
  - B. met behulp van de buis van Quincke.
  - C. door z'n klankkast op te meten.
- Op en neer (praktikumproef havo, tweede dag).  
Evenals de slingerproef is ook de bepaling van de trillingstijd van een veer aan havo-leerlingen bekend. Aan de veer is een gewicht vastgesoldeerd. Uit een grafiek waarin  $T^2$  uitgezet is als functie van de belasting  $m$  moeten de leerlingen een aantal konklusies trekken.

Bij de demonstratietoetsen konden de leerlingen in de meeste gevallen vanaf hun plaats de opstelling overzien. Wanneer zij echter behoefte hadden om de opstelling van dichtbij te bekijken dan mochten zij ongevraagd naar de demonstratietafel lopen. In een aantal gevallen was dat zelfs noodzakelijk b.v. bij de proef 'lichtvlekgalvanometer als voltmeter'. De gebruikte Kipplichtvlekgalvanometer type AL3 is namelijk niet ontworpen als demonstratiemeter. In het algemeen waren de proeven te lang voor 1¼ uur. Dit leverde geen problemen op omdat dit met de normering gekorrigeerd kon worden.

Omdat er zoveel mogelijk naar gestreefd is dat de leraar z'n eigen leerlingen beoordeelt, betekende dat voor de examinerator veel heen en weer geloop tussen praktikum- en demonstratieruimte. Hierbij bleek duidelijk het tegelijk beoordelen van 6 + 6 leerlingen zonder hulp van kollega's een te zware taak.

Het beoordelen tijdens de uitvoering van de proeven waarbij zonodig goede antwoorden of metingen verstrekt werden heeft naar verwachting goed gefunctioneerd. Door de cijfers voor het praktische schoolonderzoek in december 1975 zijn geen leerlingen gedupeerd.

## Mondeling tentamen met proeven

Gedurende een aantal jaren achtereen heeft de natuurkundesektie het schoolonderzoek afgesloten met een mondeling tentamen met proeven. Het tentamen duurde 25 minuten. In het examenlokaal stonden een twintigtal proeven opgesteld: proeven met praktikumapparatuur en proeven met demonstratieapparatuur. De opstellingen waren zodanig dat een enkele ingreep nodig en voldoende was om het experiment te doen. Van de kandidaat werd een aantal praktikum-handelingen verwacht. Bovendien moest hij aan de hand van het experiment vragen beantwoorden, verklaringen geven of konklusies trekken. Elke kandidaat werd getentamineerd in een drietal onderwerpen.

- B.v. – bepaling tralieconstante (proef)  
– korpuskulair karakter straling, konstante van Planck  
– smoorspoel, koëfficiënt van zelfinductie (proef).

Uitgangspunt van het niveau, waarop gevraagd werd was het gemiddelde van de resultaten tot dan toe. Dit is niet gebruikelijk bij mondelinge tentamens. Normaal dient een dergelijk tentamen voorzichtig opgezet te worden om de kandidaat op z'n gemak te stellen. Hier was het uitgangspunt voor de kandidaat al geruuststellend. Het tentamencijfer mocht namelijk niet veel afwijken van het gemiddelde van de resultaten tot dan toe. Het is niet korrekt als een docent zijn mening over een leerling die hij een jaar lang op vele manieren beoordeeld heeft op grond van een tentamen van 25 minuten totaal wijzigt.

### Onderzoekjes in projektvorm

Drie jaar achtereen (kursussen 1972/73 t/m 1974/75) hebben de vwo-eind-examenkandidaten de gelegenheid gekregen om in het kader van het schoolonderzoek natuurkunde bezig te zijn met een onderzoekachtige activiteit. Door mij werden aan het begin van de cursus artikelen verzameld uit tijdschriften als Faraday, Archimedes, Ned. Tijdschrift voor Natuurkunde, waarin experimenten beschreven werden die bruikbaar waren voor projecten op vwo-niveau. Daarna werd vastgesteld of het artikel geschikt was als basis voor een projekt van één of meer leerlingen. Vervolgens konden de leerlingen kiezen uit de door mij aangeboden ideeën. Ook konden ze zelf met voorstellen komen. Iedere leerling was verplicht om ofwel alleen ofwel met anderen een dergelijk onderzoekje te doen. Deze activiteit vond plaats buiten de lessen om. De leerlingen konden 's middags en soms ook 's avonds een beroep op mij of op de amanuensis doen. Rapportage meestal met demonstratie gebeurde in lestijd. Ook werd een verslag gemaakt van het projekt. De beoordeling vond plaats op grond van de rapportage en het verslag. Enkele voorbeelden:

— De seismografische slinger [97].

Twee leerlingen hebben een opstelling gemaakt met een z.g. horizontale slinger. Zij hebben bij de rapportage iets verteld over aardbevingen en de werking van een seismograaf. Vervolgens hebben zij de opstelling gedemonstreerd. Het dansen en hossen in het lokaal werd geregistreerd.

— Hoe in een ijskast warm water sneller bevriest dan koud water [90].

Twee leerlingen hebben metingen verricht aan de afkoeling van water in bakjes van verschillende vorm in een ijskast. Zij hebben gemeten met zelfgemaakte thermokoppels die aangesloten werden op een rekorder. Bij de rapportage konden zij een aantal interessante afkoelingskrommen laten zien.

— Het maken van stroboskoopfoto's.

Jaarlijks heeft een viertal leerlingen gewerkt aan een projekt om goede stroboskoopfoto's te maken. Deze stroboskoopfoto's waren vaak bruikbaar bij proefwerkopgaven. Wanneer zij de techniek goed onder de knie hadden konden zij optreden in een vierde klas op het moment dat de stroboskoop en het gebruik daarvan voor het eerst aan de orde kwam.

– Proef met zender van Hertz en coherer van Branly [45].

De opstelling met een vonkzender en een coherer-ontvanger is door één leerling ontwikkeld en gedemonstreerd. De coherer (volgens Branly) bestond uit een glazen buisje, gedeeltelijk gevuld met nikkelvijsel.

Naast de voornamelijk praktische onderwerpen hebben enkele leerlingen individueel gekozen voor een theoretisch onderwerp. Voorbeeld:

– Speciale relativiteitstheorie.

Enkele artikelen uit tijdschriften en enkele boeken werden bestudeerd [o.a. 58, 49]. Verder heeft de leerling enkele avonden met mij gepraat. Van z'n bevindingen heeft hij een verslag geschreven. Ook heeft hij gedurende een lesuur een voordracht voor z'n klasgenoten gehouden over het onderwerp gevolgd door een discussie.

De onderzoekjes in projectvorm werkten zeer stimulerend voor de leerlingen. Er werd enthousiast door hen gewerkt. Bovendien waren veel werkstukken en ontwikkelde opstellingen bruikbaar voor de lessen in andere klassen. Bij sommige projecten werd zelfs de hele school betrokken. Zo werden de passerende leerlingen in een pauze gekonfronteerd met een ruim 7,5 m lange slinger volgens Foucault die in het trappenhuis van de school opgehangen was.

De beoordeling van de leerlingen gebeurde door de docent in overleg met de klas en de betrokkenen. Een onvoldoende voor dit projectwerk kwam niet voor. De leerlingen kozen immers zelf een geschikt onderwerp en werkten daar gemotiveerd aan. Toch waren er duidelijke verschillen in beoordeling van de verschillende projecten. Zelfs gebeurde het wel dat leerlingen binnen hetzelfde project een verschillend cijfer kregen. Een groot nadeel van de onderzoekjes in projectvorm volgens de bovenbeschreven opzet was de hoeveelheid begeleidingstijd. Doordat veel projecten buiten de lessen om tegelijk plaatsvonden werd zeer vaak 's middags na de lessen of zelfs 's avonds een zwaar beroep gedaan op de docent maar vooral ook op de amanuensis (vanwege het voornamelijk praktische karakter van veel projecten).

Naarmate er meer praktikum- en demonstratieproeven op de school ontwikkeld en gebruikt werden, was er minder werktijd van de amanuensis beschikbaar voor het projectwerk. Daarom is na de cursus 1974/75 afgestapt van de organisatie van onderzoekjes in projectvorm in het kader van het schoolonderzoek natuurkunde.

### **Eigen ervaringen en het samenwerkingsverband**

Onderwijsvernieuwingsexperimenten die op een school uitgevoerd worden hebben in het algemeen een zeer positieve invloed op de docenten zelf, op de samenwerking binnen de sectie, op het onderwijs dat verzorgd wordt en dus ook op de leerlingen. De docenten blijven gemotiveerd door het zoe-

ken naar wegen om het onderwijs optimaal te laten verlopen. De leerlingen blijven enthousiast omdat de docenten regelmatig met nieuwe ideeën in de lessen aankomen. Kleine oneffenheden in dit proces worden door de leerlingen gemakkelijk vergeven en door de leraren snel vergeten. Uiteraard ga ik ervan uit dat de leraren die met vernieuwingsactiviteiten bezig zijn steeds het belang van de leerlingen voorop hebben staan.

Toch verlopen veranderingen in het onderwijs ondanks zeer veel vernieuwingsactiviteiten op veel scholen slechts zeer langzaam. Ik wil daarvoor een aantal redenen aanvoeren:

1. Vernieuwingsexperimenten binnen een vakgebied worden meestal gedragen door één of slechts weinig leden van de sectie. Slechts een beperkt aantal leraren op een school is bezig met vernieuwingen binnen het vak, met vakoverschrijdende activiteiten of met niet vakgebonden onderwijs-experimenten.
2. Veel goede ideeën gaan verloren doordat de moderniseringsactiviteiten niet systematisch vastgelegd worden. De docent die bezig is met vernieuwingsexperimenten heeft in het algemeen niet de tijd om de resultaten uit te werken en op te schrijven.
3. De vernieuwingsprojecten die op een school plaatshebben zijn geen onderzoeksprojecten. De meeste activiteiten verlopen intuïtief. Evaluatie van de verkregen gegevens gebeurt ten hoogste met zeer eenvoudige statistische bewerkingen. Docenten hebben in het algemeen geen ervaring met onderzoek op het gebied van het onderwijs. Bovendien zijn de resultaten van hun vernieuwingsactiviteiten subjectief. Een activiteit uitgevoerd door een docent die zelf het initiatief genomen heeft zal bij zijn leerlingen op zijn eigen school vrijwel altijd goed overkomen.
4. Veel goede ideeën gaan verloren doordat er te weinig praktijkgericht onderzoek plaatsvindt waarin vernieuwingsactiviteiten op verschillende scholen gekoördineerd worden. Er is dus een grote behoefte aan door deskundigen geleide onderzoeksprojecten over onderwerpen die actieve leraren relevant vinden voor hun onderwijs en waarin zij bovendien daadwerkelijk kunnen participeren.

De in de loop van de jaren ontwikkelde ideeën over praktikum schoolonderzoek en de ervaringen daarmee opgedaan hebben geleid tot het opzetten van een samenwerkingsverband met een aantal natuurkundeleraren in Eindhoven en omgeving. In samenwerking kon geëxperimenteerd worden met praktikum schoolonderzoek. De resultaten konden door mij met meer zorg geëvalueerd worden dan op een school mogelijk is.



## PRAKTIKUMDOELSTELLINGEN EN PRAKTIKUMTOETSING

*Demonstrare ergo animus est, Physicam in Experimentis fundatam, promotam, iisdemque confirmatam, solam esse veram, certam, firmamque.*

*Petrus van Musschenbroek*

Praktikum kan enerzijds gezien worden als een werkvorm die de leerling helpt bij het zich eigen maken van het vak. De natuurkunde wordt begrijpelijker door het zelf doen van proeven. Bovendien verhoogt het praktikum bij natuurkunde de belangstelling voor het vak [113]. Uiteraard kan de ontwikkeling van een attitude een doelstelling zijn van het onderwijs in de natuurkunde. Echter in dat geval is het toetsen van praktikum op zich onjuist. Evaluatie van praktikum zou dan kunnen plaatsvinden door middel van een onderzoek zonder beoordeling van de leerling b.v. een enquête. Wel zou praktikum bij de toetsing betrokken kunnen worden om de leerling in een voor hem vertrouwde situatie te plaatsen. De situatie kan voor de leerling alleen vertrouwd zijn als in het voorafgaande onderwijsleerproces veel gebruik is gemaakt van de mogelijkheden van praktikum.

Praktikum kan anderzijds gezien worden als een activiteit die inherent is aan het vak. Zoals aan de universiteiten onderscheid gemaakt wordt tussen experimentele- en theoretische natuurkunde zou men op de scholen voor voortgezet onderwijs natuurkunde met en zonder praktikum kunnen onderscheiden. In de loop van de jaren heeft met betrekking tot de schoolnatuurkunde een verschuiving plaatsgevonden van 'theoretische' naar 'experimentele' natuurkunde. Het experiment is een wezenlijk onderdeel van de natuurkunde geworden waar niet alleen aan gerekend wordt maar waar ook vragen van praktische aard over gesteld kunnen worden. Deze ontwikkeling is niet alleen zichtbaar in het onderwijs zelf maar ook in de opgaven van de centraal schriftelijke eindexamens havo en vwo na de invoering van de mammoetwet.

Bij deze ontwikkeling past ook de verplichting praktikum op te nemen in het schoolonderzoek. De invoering van praktikum in het leerplan voor de bovenbouw betekent dat een hoeveelheid kennis, inzicht en vaardigheden gerelateerd aan praktikum door de leerlingen aangeleerd moet worden. De mate waarin dit aan het eind van het leerproces verworven is kan en moet zelfs getoetst worden.

Het heeft in verband met de toetsing zin doelstellingen van praktikum te formuleren zodanig dat de praktische toets gezien kan worden als een operationalisering van die doelstellingen.

## Onderwijsdoelstellingen

Aanvankelijk is weinig aandacht besteed aan doelstellingen van het onderwijs dus ook van het natuurkundeonderwijs. Pas in de jaren vijftig is het doelstellingenonderzoek op grote schaal op gang gekomen. Inmiddels is een enorme hoeveelheid literatuur verschenen over onderwijsdoelstellingen: de indeling in categorieën, de functies, het formuleren, het inventariseren, het klassificeren en het evalueren.

In het algemeen zal ik mij beperken tot doelstellingen die relevant zijn voor de toetsing aan het eind van het onderwijsleerproces in het bijzonder voor het praktikum schoolonderzoek. Bij het opstellen van einddoelen worden vaak algemene, specifieke en operationele doelstellingen onderscheiden. Deze drie soorten doelstellingen zijn terug te vinden in de examenprogramma's natuurkunde vóór en na de invoering van de mammoetwet.

De Corte [30] heeft een indeling gemaakt vanuit het standpunt van didactische realiteit. Hij onderscheidt:

1. aktueel geldende doelstellingen, dit zijn doelen die aan het onderwijs worden voorgeschreven (b.v. eind-examenprogramma natuurkunde),
2. didactisch wenselijke doelstellingen, dit zijn doelen die nagestreefd zouden moeten worden (b.v. in Rapport 1974 van de CMLN),
3. feitelijk nagestreefde doelstellingen, dit zijn doelen die in de dagelijkse onderwijspraktijk door onderwijsgevend worden nagestreefd (b.v. leren oplossen van natuurkundevraagstukken).

Doordat bij het opstellen van de nieuwe eindexamenprogramma's [93] voor natuurkunde sterk rekening is gehouden met de voorstellen gedaan door de CMLN is het onderscheid tussen aktueel geldende en didactisch wenselijke doelstellingen niet duidelijk. Dit geldt tevens voor de verschillen tussen de aktueel geldende en didactisch wenselijke doelstellingen enerzijds en de feitelijk nagestreefde doelstellingen anderzijds vanwege de gevolgde inspraakprocedure voor de natuurkundeleraren bij de vaststelling van de examenprogramma's voor natuurkunde.

Voor de formulering van gedragsleerdoelen stelt Mager [88] een viertal wel zeer vergaande eisen:

1. er moet een werkwoord in voorkomen, dat éénduidig uitdrukt welke observeerbare activiteit of verrichting de leerling kan uitvoeren,
2. er moet zo konkreet mogelijk worden aangeduid op welke inhoud of categorie van inhouden de leerling de beschreven gedragingen moet kunnen toepassen,
3. er moet omschreven worden onder welke omstandigheden de leerling die de doelstelling heeft bereikt, de beschreven gedragingen moet kunnen toepassen,
4. indien mogelijk moet ook een omschrijving gegeven worden van de minimumprestaties die nog als succesvol kunnen worden aanvaard.

De Corte [30] gaat duidelijk minder ver met zijn algemeen richtinggevend criterium: de formulering moet zo nauwkeurig zijn, dat ze éénduidig en juist begrepen wordt door verschillende personen die een voldoende graad van deskundigheid bezitten wat de inhoud van de doelstelling betreft. Zowel tegen vaag geformuleerde gedragsleerdoelstellingen als ook tegen zeer gespecificeerde gedragsleerdoelen zijn bezwaren aan te voeren. Lijnse [87] geeft voor het tweede geval een aantal bezwaren die vooral betrekking hebben op een verstarring en beperking in het onderwijs. Toch is een zekere mate van specificatie van leerdoelen noodzakelijk om te zorgen dat onderwijsgevendenden weten hoe ze het onderwijs kunnen verzorgen zeker als dat leidt tot een centraal geregeld examen.

### **Taxonomie van onderwijsdoelstellingen**

Bij het formuleren en inventariseren van onderwijsdoelstellingen ontstond de behoefte om een zekere structurerende ordening aan te brengen.

Bloom [13] heeft als eerste geprobeerd een taxonomie op te stellen. In zijn schema van het 'kognitieve domein' onderscheidt hij kennis en intellectuele vaardigheden. De opbouw is zodanig dat een ingewikkelder denkproces hoger geklassificeerd is. Naast waardering voor de taxonomie van Bloom is er ook kritiek, met name met betrekking tot de toepasbaarheid [32]. In navolging van Bloom heeft Krathwohl [75] een taxonomie voor het affektieve domein gepubliceerd. Hiervoor is van de kant van het onderwijs minder belangstelling dan voor de taxonomie voor het kognitieve domein omdat affektieve gedragingen moeilijker door middel van onderwijstoetsen zijn te evalueren. Van natuurwetenschappelijke zijde is het grote bezwaar tegen de taxonomie van Bloom, dat deze slecht toepasbaar is op specifiek experimentele vaardigheden. Klopfer [71] is aan dit bezwaar tegemoet gekomen door de taxonomie van Bloom aan te passen aan de natuurwetenschappelijke situatie. Hij heeft het onderzoeksproces als leidraad genomen. Auer [7] heeft de experimentele eindexamens natuurkunde voor havo in de jaren 1968 t/m 1972 geanalyseerd met behulp van de taxonomieën van Bloom en Klopfer. Hoewel hij duidelijk de bruikbaarheid van beide analyse-instrumenten liet zien, toonden toch de deelnemers van de Woudschotenkonferentie [134] aan dat ook de taxonomie van Klopfer evenmin als die van Bloom éénduidig toegepast kan worden. Naar mijn mening doet het feit dat bovengenoemde taxonomieën ook bruikbaar zijn voor andere vakgebieden afbreuk aan de bruikbaarheid voor natuurkunde, speciaal voor praktikum natuurkunde. Dit is de zwakte van het idee van Bloom om één taxonomie voor alle vakgebieden te maken.

### **Praktikumdoelen in de jaren vijftig**

Reeds in 1949 hield Nedelsky [99] een pleidooi voor een duidelijke en nauw-

keurige omschrijving van de doelstellingen van het natuurkundeonderwijs. Bij de toetsing zou dan nagegaan kunnen worden in hoeverre de doelstellingen bereikt zijn. Nedelsky onderscheidde aanvankelijk vier hoofdgroepen in zijn doelstellingslijst voor natuurkunde (natuurwetenschappen):

- knowledge,
- ability to use the methods of science,
- ability to read scientific literature,
- proper attitudes and habits.

Daarna was Kruglak [76] één van de eersten die een poging ondernomen heeft om een uitvoerige lijst van doelstellingen voor het natuurkundepraktikum te maken. De lijst van vaardigheden bij praktikum zou bruikbaar zijn bij de konstruktie en analyse van praktikumtoetsen. De lijst is speciaal samengesteld voor het onderwerp elektriciteitsleer. Kruglak onderscheidt in totaal 26 vaardigheden gegroepeerd in 6 hoofdkategorieën.

- I 7 instrumental skills,
- II 5 skills in the use of the controlled experiment,
- III 2 problem-solving skills,
- IV 6 miscellaneous skills,
- V 3 functional understanding of principles,
- VI 3 habits.

De opsomming van de vaardigheden, de keuze van de hoofdkategorieën en de indeling van vaardigheden in de hoofdkategorieën is weinig systematisch gebeurd.

Een betere ordening in de opsomming van praktikumdoelstellingen treffen we aan in publikaties na het eerder genoemde werk van Bloom. Een systematische opbouw van een lijst van gedragingen, die bij de konstruktie en evaluatie van toetsvragen een rol kunnen spelen is in principe in elk vakgebied wenselijk. Zo geeft Nedelsky [100] in navolging van Bloom een nieuwe lijst doelstellingen voor natuurkunde met daarin opgenomen de doelstellingen voor praktikum. De opbouw van de lijst wordt duidelijk door de ordening van de volgende begrippen, waarvan uitleg gegeven wordt:

1. knowledge,
2. understanding,
3. intuitive understanding,
4. laboratory understanding,
5. ability to learn,
6. disciplined thinking,
7. imaginative thinking.

Voor praktikum worden de volgende niveau's onderscheiden:

- ability L1 laboratory knowledge,
- L2 laboratory understanding,
- IL2 intuitive understanding of phenomena,
- L3 ability to learn from experiment or observation.

De lijst van Nedelsky heeft evenals die van Bloom een hiërarchische opbouw met nadruk op cognitieve vaardigheden. De laboratoriumvaardigheden zijn systematisch ingebouwd, te beginnen met eenvoudige kennis van apparatuur en procedures tot een zekere beheersing van de 'natuurwetenschappelijke methode', namelijk de vaardigheid om zelf uit en door middel van het experiment, dus onderzoekend, te leren. Een bezwaar bij de analyse en synthese van praktikumtoetsen is ook hier de niet eenduidige toepasbaarheid. Bovendien ontbreekt een opsomming van vaardigheden die verband houden met de uitvoering van het experiment.

### Rangorde van praktikumdoelen door leraren

Kerr [70] heeft in 1961 tien doelstellingen voor praktikum uit de literatuur geïnventariseerd en door een opinieonderzoek onder leraren in Engeland vastgesteld welke waarde zij hechten aan de verschillende geformuleerde doelstellingen. Hierbij is een volgorde van belangrijkheid van doelen gevonden met betrekking tot praktikum voor leerlingen in de onderbouw en voor leerlingen in de bovenbouw. Het onderzoek is uitgevoerd voor natuurkunde, scheikunde en biologie en voor scheikunde o.a. herhaald door West [136] en voor natuurkunde o.a. door Wilson [137] en door Schröder [105]. Kerr vond dat de resultaten op de enquête voor de verschillende disciplines ondanks de verwantschap verschilden. Maar ook de onderzoeken voor scheikunde door Kerr en West (beide in Engeland) en voor natuurkunde door Kerr (Engeland), Wilson (Schotland) en Schröder (Nederland) leverden verschillende resultaten op. Ik wil me beperken tot de bovenbouw (sixth forms, stage 3) en het vak natuurkunde. Voor de drie onderzoeken is de volgorde van belangrijkheid aangegeven in de volgende tabel. Gekozen is voor die doelstellingen van Wilson die ook bij de andere auteurs genoemd worden.

Tabel 3: Rangorde van praktikumdoelen

Praktikumdoel (aim)	Kerr	Wilson	Schröder	
			havo	vwo
1. To encourage accurate observation and careful recording.	1	5	6	6
2. To aid understanding of physical concepts.	2	1	4	5
3. To be an integral part of finding facts by investigation and arriving at principles.	3	2	5	2
4. To arouse and maintain pupil interest.	9	7	7	7
5. To verify facts and principles already taught.	5	8	9	8
6. To develop manipulative skills.	6	9	8	9
7. To train pupils in problem solving by experimental investigation.	8	4	2	1
8. To promote scientific methods of thought.	4	3	3	3
9. To illustrate the applications of physics to real life situations	7	6	1	4

Hoewel de gevolgde methode om de rangorde te bepalen bij de drie onderzoeken niet dezelfde was, zijn toch een aantal overeenkomsten en verschillen aan te geven.

Zo skoren doelen 4, 5 en 6 bij de drie onderzoeken laag en 3 en 8 tamelijk hoog. In Engeland vindt men het belangrijk dat leerlingen akkuraat leren waarnemen en zorgvuldig leren verslaggeven. In Schotland en Nederland heeft dit minder prioriteit, terwijl de vaardigheden waarnemen en verslaggeven toch direkt voortvloeien uit het doen van praktikum. Het doel dat praktikum de leerlingen helpt om meer inzicht te krijgen in fysische begrippen, om hen de theorie beter te laten begrijpen scoort in Engeland en Schotland hoog, in Nederland vindt men dit doel iets minder belangrijk. Juist andersom is het gesteld met de doelen 'het meer op de werkelijkheid betrekken van fysische verschijnselen door toepassingen uit het dagelijks leven' voor havo en 'het leren problemen op te lossen door experimenteel onderzoek' voor vwo en ook voor havo.

Het lijkt erop dat de natuurkundeleraren in Nederland het praktikum in vergelijking met hun kollega's in Engeland en Schotland iets meer zien als middel dat de leerlingen helpt bij het zich eigen maken van het vak dan als één van de doelen van het natuurkundeonderwijs.

Zowel Kerr als ook Wilson hebben nagegaan wat voor soort praktikumexperimenten de natuurkundeleraren in Engeland en Schotland zoal deden. Beiden vonden verschillen tussen het type van experimenten dat op de school gedaan werd en het type experimenten dat de leraren belangrijk vonden volgens de doelstellingen. Zo waren experimenten waarbij eerder onderwezen feiten en principes geverifieerd werden veel in het praktikum opgenomen. Dit is in tegenspraak met de positie van doel 5. In Schotland vonden de leraren praktikum waarbij de leerlingen 'probleem oplossen' konden leren tamelijk belangrijk (vierde plaats) maar dit soort praktikum werd vrijwel niet gedaan.

De enquête van Kerr in Engeland is in 1975 herhaald door Woolnough [139]. Hij liet leraren de volgorde van belangrijkheid van twintig doelstellingen van praktikum (sixth form) bepalen. Ik noem de belangrijkste vier doelstellingen volgens de leraren.

1. to encourage accurate observation and description,
2. to make phenomena more real through experience,
3. to develop a critical attitude,
4. to practice seeing problems and seeking ways to solve them.

Hoewel de formulering van de doelstellingen enigszins verschilt van die volgens Kerr lijkt de gevonden volgorde toch een weinig veranderd mede dank zij de vele vernieuwingsactiviteiten die in Engeland in de periode van 1961 tot 1975 plaatsvonden. Woolnough beweert dat de natuurkundeleraren het praktikum in 1975 nog meer zien als een doel, een aspekt van de fysika dat op zichzelf voldoende belangrijk is dan als middel om de theorie te ondersteunen en te illustreren.

Nuffieldleraren gaan wat dit laatste betreft verder dan niet-Nuffieldleraren. Zij vinden doelen die samenhangen met verifikatie en routinehandelingen

nog minder belangrijk dan niet-Nuffieldleraren.

Verder signaleert Woolnough een verschuiving van de belangstelling van 'standaardexperimenten' via 'vrije proeven' naar 'projektwerk'. Projektwerk blijkt het meest gerealiseerd te worden bij Nuffieldleraren.

De doelstellingen zoals ze geïnvesteerd zijn door Kerr e.a. zijn zeer bruikbaar voor een discussie over de plaats van het praktikum in het natuurkundeonderwijs en over de manieren waarop praktikum gerealiseerd kan of moet worden. Ze zijn ook bruikbaar bij een discussie over de manier waarop de evaluatie van praktikum kan plaatsvinden. Ze zijn echter te weinig operationeel om echt gebruikt te kunnen worden voor de analyse en synthese van praktikumtoetsen, omdat een opsomming van praktikumvaardigheden ontbreekt.

### Het bereiken van praktikumdoelen

Fowler heeft op grond van een artikel van Michels [91] twee axioma's voor praktikum geselecteerd. Daarna heeft hij een doelstellingenlijst opgesteld om de axioma's, zoals hij zelf zegt, operationeel te maken. De axioma's en doelstellingen voor praktikum volgens Fowler zijn:

*Axioma's:*

1. It is in the lab and only in the lab that the student can experience physics as it actually is.
2. For learning to take place most effectively, the student must be motivated through interest.

*Doelstellingen:*

1. The student should have the opportunity to make personal investigative decisions.
  - a. At some stage in the work the student must choose an experimental path and the choice must be based on work already completed.
  - b. The experiments should be capable of differing degrees of precision so that the student can decide on the basis of his own work when greater precision is needed.
  - c. The student should have an opportunity to exercise control over some aspect of nature.
  - d. The student should be allowed to follow up incorrect decisions occasionally without being immediately corrected by the instructor.
2. The laboratory should broaden a student's exposure to the behavior of nature and to the physicists' description and predictions of that behavior.
  - a. An opportunity should be provided for the student to experience a broad range of phenomena.
  - b. Whenever possible, some theoretical analysis should be demanded as part of the lab experience. This should consist of application of broad-based principles rather than computation of formulae.
  - c. The student should have the opportunity in the lab to test some simple

- model of a phenomenon and to construct and test a more complex model based on his experimental findings.
- d. Natural phenomena are often a complex interaction of many processes. In the lab a student should learn by experiment the importance of these various processes and evaluate their magnitude.
3. The lab instruction should provide an environment in which discovery by the student is both possible and encouraged.
    - a. As many experiments as possible should lead to results that are not likely to be known to the student in advance.
    - b. Lab interaction with phenomena is often provided prior to lecture exposition.
    - c. Student questions which appear as appropriate for exploration in the lab are allowed to take precedence over preconceived routines.
    - d. The lab should be the source of 'dis-equilibrating' experiences, experimental results which are unexpected and difficult to explain, for such experiences facilitate learning.
  4. The lab, the lecture, the recitation, the textbook, etc. should provide learning experiences which complement and reinforce each other.
    - a. Opportunity should be provided for both quantitative measure and analysis and qualitative experience.

Door Lerch [81] is nagegaan in hoeverre de doelstellingen van Fowler, volgens de studenten, bereikt zijn. Hierbij zijn studenten van verschillende studierichtingen en vooropleidingen met betrekking tot praktikum geënquêteerd over onderdelen van het praktikum en het praktikum als geheel. De doelstellingslijst en de enquêteformulieren bleken geschikt als meetinstrument om de waarde van het praktikum en van onderdelen van praktikum vast te stellen. De lijst was niet bedoeld om te gebruiken bij de synthese en analyse van praktikumtoetsen.

### **Het experiment bepaalt de rangorde van praktikumdoelen**

Uitgangspunt van de doelstellingslijst van Swain [118] is de opeenvolging van stadia in een natuurwetenschappelijk experimenteel onderzoek. Swain onderscheidt drie hoofdgroepen waarin in totaal 22 vaardigheden ondergebracht zijn:

- I The road to the experiment.
  1. ability to comprehend the purpose of the experiment,
  2. ability to plan an experiment,
  3. ability to obtain a viable experimental set-up.
- II The experiment.
  4. ability to perform an experiment.
- III The conclusions to the experiment.
  5. ability to analyze and interpret the experiment,
  6. presentation of the experiment.



De lijst van Swain kan met name door de ordening van vaardigheden gezien worden als een verbetering van de lijst van Kruglak. De lijst is evenals die van Kruglak bruikbaar bij synthese en analyse van praktikumtoetsen. De lijst is zeker niet volledig. Bovendien hebben niet alle genoemde vaardigheden hetzelfde gewicht. Hoewel de attitudes van de leerlingen bij praktikum een belangrijke rol spelen is hiervan niets opgenomen in de lijst. Bij de toetsing van praktikum zijn attitudes van leerlingen moeilijk en vaak niet objectief beoordeelbaar volgens Swain.

### Praktikumdoelen volgens leerlingen en leraren

Buckley en Kempa [18] hebben door middel van een enquête onder leerlingen nagegaan welke categorieën doelen volgens hen getoetst zouden moeten worden. De mate van belangrijkheid die de leerlingengroep als geheel aan de betreffende categorieën toekent wordt uitgedrukt in het percentage leerlingen dat toetsing van die categorie wenselijk vindt.

Het resultaat:

1. observational skills	92 %
2. manipulative skills	84
3. ability to interpret experiment observations and data	78
4. ability to plan experiments and investigational routes	56
5. interest in and attitudes towards practical work	50

Daarna hebben Dynan en Kempa [40] een lijst van 13 doelstellingen voor praktikum opgesteld verdeeld over bovengenoemde vijf categorieën. Zij hebben door middel van een enquête aan leraren gevraagd om van elke doelstelling aan te geven:

- a. welk belang zij de doelstelling toekennen in een ideale onderwijssituatie,
- b. welke aandacht zij aan de doelstelling besteden in hun eigen lespraktijk,
- c. welke aandacht de doelstelling krijgt bij het praktikumexamen.

De 92 leraren die de enquête beantwoord hebben vinden alle genoemde doelstellingen van praktikum in een ideale onderwijssituatie zeer belangrijk. In hun eigen onderwijspraktijk besteden zij de minste aandacht aan 'planning of practical work'. Bij het praktikumexamen krijgen alleen de categorieën 'manipulation' en 'observation and measurement' voldoende aandacht en 'attitudes of practical work' verreweg de minste aandacht.

Hoewel de lijst van Dynan en Kempa grote overeenkomst vertoont met de lijst van Swain is de opbouw minder systematisch doordat de volgorde van belangrijkheid bepaald is door leerlingen. Ook de geringere gedetailleerdheid maakt deze lijst van praktikumdoelen minder bruikbaar bij de synthese en analyse van praktikumtoetsen. Wel kan de lijst gebruikt worden als 'checklist' voor de beoordeling van praktikuminstructies en voor de evaluatie van praktika. Lunetta en Tamir [86] hebben speciaal hiervoor een soortgelijke doelstellingenlijst gemaakt. Deze lijst hebben zij gebruikt bij de analyse van het praktisch werk in een biologiecursus [120] en in twee natuurkundemoderniseringsprojecten [85] om na te gaan in hoeverre de

praktikuminstrukties de leerlingen de mogelijkheid bieden om een aantal onderzoeksvaardigheden te leren. Ook van den Berg [12] gebruikt deze lijst wanneer hij twee instructiemethoden voor de slingerproef vergelijkt.

### **Praktikumdoelen en natuurwetenschappelijke methode**

In Nederland zijn de natuurkundeonderwijsdoelstellingendiskussies pas in de loop van de jaren zestig op gang gekomen. De aandacht voor praktikumdoelstellingen in verband met de toetsing kwam pas veel later aan de orde. In 1977 stelt de Bruijn [17] voor om voor het inrichten van praktikumtoetsen uit te gaan van het zeer gedetailleerde model van de natuurwetenschappelijke methode volgens van Lieshout [82]. Daarvan worden de eerste drie fasen, 'informatie', 'probleemanalyse' en 'hypothesevorming', wegge laten. De volgende fasen blijven dan over:

- A. de probleemstelling: het doel van het experiment wordt bepaald.
- B. het operationaliseren: de probleemstelling wordt vertaald in termen van variabelen.
- C. het specificeren: beslist wordt over welke gebieden de variabelen gevarieerd zullen worden.
- D. het ontwerpen van het experiment: er wordt een plan gemaakt hoe de opstelling gemaakt en hoe gemeten zal worden. Gidsexperimenten worden uitgevoerd.
- E. het uitvoeren van het experiment: de opstelling wordt gebouwd en er worden waarnemingen verricht.
- F. het bewerken van de resultaten: de waarnemingen worden interpreteerbaar gemaakt.
- G. konkluderen: vastgesteld wordt of het doel van de proef bereikt is.

Om te komen tot een praktikumtoets worden de fasen vastgesteld die doorlopen moeten worden. In de toets worden z.g. controlepunten ingebouwd waar beoordeling en bijsturing plaatsvindt. Er wordt ook gespecificeerd met welke apparatuur de leerling bij de praktische toetsing te maken kan krijgen. Dit vormt een noodzakelijk onderdeel in de beschrijving van de situatie waarin wordt getoetst. Behalve de naam van het apparaat wordt ook de functie en de mate van instructie, behorend bij het apparaat vermeld.

Ook worden de procedures gespecificeerd:

- I Meetprocedures, om meetgegevens te verkrijgen,
- II Konkrete technieken, in relatie met de apparatuur,
- III Technieken ter bewerking van de informatie.

In het hierboven beschreven model om een praktikumtoets op te stellen zijn de attitudes die men door praktikum denkt te bereiken niet verwerkt. Het model heeft een logische opbouw, er wordt duidelijk aangegeven hoe men te werk moet gaan om praktikumtoetsen te konstrueren. Toch blijkt het model in de praktijk voor havo en vwo niet bruikbaar. De opzet is te theoretisch, er moeten te vaak beslissingen worden genomen met betrekking tot de fasen, de apparatuur en de procedures zonder dat men verder gekomen is met het maken van een praktikumtoets.

Voortbouwend op de eerder genoemde fasen in het natuurwetenschappelijk onderzoek geven van Lieshout en Ruijter [83] inhoud aan twee eigen doelstellingen van praktikum: leerlingen specifieke vaardigheden bijbrengen en kennis laten maken met het fenomeen 'empirisch onderzoek doen'. Zij geven een aantal voorbeelden hoe 'onderzoek' te onderwijzen op het niveau van 6 vwo maar zij geven geen mogelijkheden voor toetsing.

### **Praktikumdoelen volgens CITO**

Door het CITO [67] is in de loop van 1976 een onderzoek gestart naar de mogelijkheden om in de bovenbouw havo/vwo praktikumtoetsen te ontwikkelen niet alleen voor natuurkunde maar ook voor de verwante vakken scheikunde en biologie.

In de periode van augustus 1977 tot december 1978 heeft men zich georiënteerd op praktikumdoelstellingen, op de aanwezigheid van praktikummateriaal op de scholen en op de problemen die het maken van praktikumtoetsen in feite met zich meebrengt. In deze periode zijn tevens enige voorbeeldpraktikumtoetsen voorbereid, gekonstrueerd en gepretest. Daarna, vanaf maart 1979, heeft men zich bezig gehouden met

1. de belangrijke en toetsbare cognitief/motorische doelstellingen van het praktikum in de bovenbouw havo/vwo voor de vakken biologie, natuurkunde en scheikunde.
2. de toetsvorm waarin deze doelstellingen het best ondergebracht kunnen worden.
3. de voorkeur met betrekking tot gebruik van praktikumtoetsen door docenten.

In de loop van 1979 is door het CITO een klassifikatie-systeem van praktikumdoelstellingen voor havo/vwo bovenbouw ontwikkeld. Het betreft hier kommunale en aktueel geldende doelstellingen, d.w.z. doelstellingen die volgens leraren door de meerderheid van de leerlingen (70% of meer) aan het eind van de bovenbouw havo/vwo beheerst moeten worden. De geformuleerde doelstellingen voldoen zo veel mogelijk aan een aantal regels (aanbevelingen van De Corte, Eisner, Gronlund, de Groot en Tyler):

1. ze zijn gesteld in termen van leerlinggedrag,
2. ze zijn zodanig duidelijk dat docenten redelijkerwijs gesproken de doelstellingen, zoals bedoeld, opvatten en begrijpen,
3. ze zijn kernachtig geformuleerd en niet tot in het kleinste detail gespecificeerd,
4. ze hebben betrekking op het niveau bovenbouw havo/vwo,
5. ze bestrijken het gehele gebied van belangrijke en wenselijke cognitief/motorische doelstellingen zo adequaat en volledig mogelijk.

Bij het formuleren van de doelstellingen heeft men de werkwijze van 'algemeen naar specifiek' gevolgd. De algemene doelstellingen zijn voor de drie natuurkundewetenschappen zoveel mogelijk op dezelfde wijze opgesteld. Hierbij is gebruik gemaakt van eerder genoemde publikaties over prakti-

kumdoelstellingen door Kruglak, Nedelsky, Swain, Tamir en Lunetta enz. Het systeem kent 4 hoofdkategorieën:

- A. voorbereiding van een experiment,
- B. uitvoering van het experiment,
- C. bewerking van de waarnemingen,
- D. verantwoording van verrichtingen en resultaten.

Deze hoofdkategorieën bevatten algemene doelstellingen en steeds verdergaande specificaties (resp. 1-, 2- en 3-cijferig). Per vak bevat het klassifikatiesysteem 100 à 120 kernachtig geformuleerde doelstellingen [20, 59]. Door middel van een vragenlijst is nagegaan in hoeverre de opgestelde doelstellingen volgens havo/vwo docenten wenselijk, kommunaal en haalbaar zijn. Tevens kon empirisch nagegaan worden welke verschillen er bestaan in aktueel geldende doelstellingen tussen havo en vwo [122]. Het blijkt dat slechts twee doelstellingen van de ruim honderd door meer dan 50% van de vwo-docenten als niet wenselijk worden beschouwd en zeven doelstellingen door meer dan 50% van de havo-docenten. Verschillen tussen havo- en vwo-beoordelaars blijken ook uit het feit dat havo-docenten een aantal doelstellingen die in de hoofdkategorieën A en D thuishoren minder hoge wenselijkheidsbeoordelingen geven dan vwo-docenten (vaak significant op 5% niveau). Voor de twee andere hoofdkategorieën B en C gelden deze verschillen niet of nauwelijks. Verder blijken zowel havo- als vwo-docenten een voorkeur te hebben voor de doelstellingen uit de hoofdkategorieën B en C ten opzichte van A en D. Uit commentaren blijkt dat doelstellingen uit A en D vaak te moeilijk of niet haalbaar geacht worden. In de loop van 1981 zijn CITO-medewerkers gestart met de produktie van onderwerpachtige praktikumtoetsen waarmee metingen worden gedaan uit de kognitieve en motorische praktikumdoelstellingen zoals die op het eind van de bovenbouw havo en vwo bereikt moeten zijn. In deze summatieve toetsen worden experimenteervaardigheden opgenomen uit de vier hoofdkategorieën van het ontwikkelde klassifikatiesysteem. De gekozen onderwerpen van de toetsen dienen afkomstig te zijn uit diverse gebieden van de leerstof. Om de leraren zo veel mogelijk van dienst te kunnen zijn bij het (verplichte) praktikum schoolonderzoek worden enkelvoudige en meervoudige thematoetsen ontwikkeld. Bij een toets behoort steeds een verantwoording, een lijst van benodigde apparatuur en een korrektiemodel.

De lijst met praktikumdoelstellingen opgesteld door het CITO is zeer gedetailleerd en daardoor zeer bruikbaar als 'checklist' voor de synthese en analyse van praktikumtoetsen, ook voor leraren die zelf hun praktikumtoetsen ontwikkelen. Met name voor CITO medewerkers die zich bezighouden met de ontwikkeling van praktikumtoetsen is het bovendien van belang te weten welke prioriteit de leraren aan de verschillende doelstellingen toekennen.

## Praktikumdoelen volgens leraren in Nederland

Ook op scholen is veel ervaring opgedaan met de ontwikkeling van praktikumtoetsen in het kader van het praktikum schoolonderzoek (zie o.a. Eigen ervaringen). Door velen zijn hiervoor doelstellingen opgesteld meestal algemeen geformuleerd.

Een zeer gedetailleerde lijst van criteria voor praktikumbeoordeling wordt geleverd door Wubbels e.a. [140]. Zij hebben praktikumvaardigheden geklassificeerd waarbij de volgende aspecten onderscheiden worden:

1. experimenteervaardigheid,
2. meetpunten en meetnauwkeurigheid,
3. onderzoeksvaardigheden,
4. vormgeving van het verslag,
5. inhoud van het verslag,
6. foutenberekening en foutendiskussie,
7. verband tussen theorie (hypothese) en experiment.

Zij beweren dat hun classificatiesysteem van praktikumvaardigheden gebruikt kan worden bij het beoordelen van uitgevoerde praktika in het bijzonder bij het schoolonderzoek. Daarnaast is het systeem ook nuttig voor verbetering van proeven en ontwikkeling van een praktikumleergang. Met het beschreven klassificatiesysteem is ervaring opgedaan in de vwo-bovenbouw.

Hoewel de lijst minder volledig is dan de CITO-lijst lijkt ook een dergelijk klassificatiesysteem bruikbaar voor eigen gebruik. In deze lijst ontbreekt wel een systematische opbouw.

### Keuze van doelstellingenlijst.

In de hiervoor besproken doelstellingenlijsten zijn mijns inziens een aantal typen te herkennen:

1. opinievormende doelstellingenlijsten zoals de lijsten van Kerr e.a. en Fowler, die van belang zijn bij discussies over de manier waarop praktikum in het onderwijs op de scholen gerealiseerd kan worden. De doelstellingen zijn meestal algemeen geformuleerd. Naast cognitieve en psychomotorische kunnen ook affectieve doelstellingen opgenomen zijn.
2. lijsten met specifieke praktikumvaardigheden zoals de lijsten van Kruglak, Swain en CITO, die met name bruikbaar zijn bij de synthese en analyse van praktikumtoetsen. Deze lijsten hebben de pretentie zo volledig mogelijk te zijn.
3. lijsten waarin naast specifieke praktikumvaardigheden het onderzoeksproces nadruk heeft. Het onderzoeksproces wordt benadrukt in de lijsten van van Lieshout, de Bruijn en ook Tamir en Lunetta.

In vergelijking met het tweede type doelstellingenlijsten ligt bij het derde type meer nadruk op het cognitieve gebied, op de manier van denken in het onderzoeksproces. Om de leerlingen dit laatste bij te brengen is een

open vorm van praktikumopdracht nodig, is projectwerk zeer gewenst. Ook bij de toetsing zou men dan een dergelijke vorm moeten hanteren. Dit zal in het algemeen ten koste gaan van de objectiviteit. Bovendien hebben maar weinig leraren in Nederland het nog toe aangedurfd om te werken met open praktikumopdrachten en projecten. Naar mijn mening komen de lijsten van het tweede type het eerst in aanmerking om te gebruiken bij de synthese en analyse van praktikumtoetsen in het kader van het schoolonderzoek natuurkunde in Nederland.

### **Praktikumboeien en praktikumtoetsen**

Er is veel onderzoek geweest naar de rol, de effecten en de efficiëntie van praktikum in het natuurkundeonderwijs. Toch zijn er volgens Hofstein en Lunetta [62] nog veel onderzoeksvragen met betrekking tot praktikum niet afdoende beantwoord. Zij beweren bovendien dat de doelen die men met praktikum nastreeft voor een groot gedeelte dezelfde zijn als de doelen voor het natuurkundeonderwijs in het algemeen. Dan ligt het ook voor de hand dat er weinig of geen significante verschillen gevonden worden tussen leerlingen die met of zonder praktikum onderwezen zijn vooral wanneer de verschillen gezocht worden met behulp van toetsen in het kognitieve gebied.

Hofstein en Lunetta en ook Bouma [14] pleiten daarom voor onderzoek om de specifieke doelstellingen van praktikum te onderscheiden van de doelstellingen van het natuurkundeonderwijs in het algemeen. Dit zou het beste onderzocht kunnen worden met behulp van praktikumtoetsen. Wanneer Ausubel [10] zegt, dat praktikum ... 'gives the students appreciation of the spirit and method of science, it promotes problem-solving, analytic and generalization ability. It provides students with some understanding of the nature of science' dan kunnen de natuurkundeleraren in Nederland daarin geloven of niet. Maar nu praktikum verplicht in het schoolonderzoek getoetst moet worden hebben zij in het algemeen meer behoefte aan antwoorden op de vragen: 'welke specifieke praktikumdoelstellingen kunnen in het schoolonderzoek getoetst worden en op welke wijze kan dit het beste gebeuren'.

*Ge doet! Ge doet! immers ge onderwijst toen twee keers: eenen keer door uw eigen zelven, en in propria persona, en eenen anderen, of tweeden keer, bij procuratie, en door 't onderwijzend gouvernement.*

*Guido Gezelle*

Het 'programma voor de eindexamens der hogere burgerscholen B' gaf voor natuurkunde in de jaren zestig de volgende omschrijving [80].

'De proefondervindelijke natuurkunde, waaronder begrepen de beginse-len van de mechanica, en de belangrijkste toepassingen. De kandidaat moet bekend zijn met de elementaire natuurkundige verschijnselen en wetten. Hij moet in staat zijn deze in wiskundige vorm te formuleren en eenvoudige vraagstukken op te lossen.'

Daarna volgde de groepenlijst waaruit jaarlijks een aantal groepen door de inspecteurs aangewezen werd waarover bij het schriftelijk en mondeling gedeelte van het eindexamen dat twee jaar later werd gehouden, vragen konden worden gesteld.

Volgens Steller [112] kreeg het 'proefondervindelijke' bij de eindexamens HBS-B minder aandacht dan de 'wiskundige formulering'. Hij toonde in 1964 aan dat 'de eindexamenopgaven van jaar op jaar een steeds groter percentage rekenwerk en steeds minder proefbeschrijving, proefinterpretatie, fysische redenering bevatten'.

Volgens hem 'noodt én noopt de grote eenzijdigheid van de eindexamens leraren en leerlingen tot eenzijdige training'.

### **Invoering van de mammoetwet**

In de onderwaardering van het experiment bij de eindexamens voor natuurkunde en dus ook in het natuurkundeonderwijs is na de invoering van de mammoetwet geleidelijk verandering gekomen. In dit veranderingsproces heeft de in 1965 ingestelde staatskommissie modernisering leerplan natuurkunde (CMLN) een belangrijke rol gespeeld. In het interimrapport over de vwo-bovenbouw [21] worden als te ontwikkelen vaardigheden o.a. genoemd: 'Het betrouwbaar waarnemen, ook bij zelf uit te voeren proeven. Het trekken van konklusies uit de waarnemingen. Het met begrip van de werking hanteren van de bij de waarnemingen gebruikte meetinstrumenten.' Van havo-bovenbouwleerlingen wordt gezegd [22]: 'wil het natuur-

kundeonderwijs deze leerlingen aanspreken, dan zal het ook praktisch gericht moeten zijn naar inhoud en vorm'. In haar eindrapport [23] doet de commissie voorstellen over de leerplannen voor havo- en vwo-bovenbouw die later zullen leiden tot de definitieve eindexamenprogramma's. Tevens maakt de commissie melding van de vernieuwingsexperimenten die in het kader van de voorstellen uitgevoerd zijn.

Ook de activiteiten van de in 1964 ingestelde commissie vwo, havo, mavo [27] hebben het vernieuwingsproces binnen het natuurkundeonderwijs bevorderd. In samenwerking met de pedagogische centra heeft deze commissie de mammoetexperimenten op de scholen begeleid. Deze experimenten zijn op het havo gestart in 1964 en op het vwo in 1965. Het eerste eindexamen van het vwo in 1971 toonde direkt een duidelijk ander type opgaven voor natuurkunde in vergelijking met de HBS-B opgaven. Daardoor heeft de vernieuwing in de eindexamens natuurkunde voor het vwo sneller plaatsgevonden dan voor het havo [7]. Nog in 1974 klaagt Verkerk [124] over de eenzijdigheid van het havo eindexamen natuurkunde waardoor leraren die zich bezighouden met de ontwikkeling van het natuurkundeonderwijs in de havo-bovenbouw in hun werk gedwarsboomd worden.

### **Het schoolonderzoek als 'proeftuin'**

De invoering van het schoolonderzoek heeft, ondanks de bezwaren [98] nieuwe mogelijkheden geopend voor moderniseringspogingen in ons onderwijs. Het schoolonderzoek kan volgens Auer [6] worden gezien als een 'proeftuin' waarin experimenten, die vanuit de basis worden geïnitieerd, kunnen worden geëvalueerd. Hij waarschuwt daarbij wel voor ongewenste risico's voor degenen die aan experimentele vormen van schoolonderzoek meewerken.

Het schoolonderzoek is in de plaats gekomen van de vroegere mondelinge examens en vindt plaats vóór de schriftelijke examens. Het schoolonderzoek is de afsluiting van een leerproces. De wetgever heeft de scholen een ruime mate van vrijheid willen geven bij het inrichten van het onderwijs. Hierbij sluit aan dat de wijze waarop het schoolonderzoek zal worden ingericht in de eerste plaats een zaak is van de school zelf. In het belang echter van het handhaven van het peil van het eindexamen, in het belang van de kandidaat en in het belang van de school zelf geeft Besluit eindexamen vwo-havo-mavo [95] op enkele essentiële punten voorschriften.

Ondanks de vele mogelijkheden van examineren in het schoolonderzoek waarbij vele kwaliteiten van de eindexamenkandidaten kunnen worden beoordeeld zijn er helaas altijd nog leraren die de ruimte in het schoolonderzoek te weinig benutten. Zij zien het schoolonderzoek nog te veel als een duplikaat van het centraal schriftelijk eindexamen (CSE) en pogen hun toetsen zodanig samen te stellen dat een zo groot mogelijke correlatie ontstaat tussen de cijfers van het schoolonderzoek en van het CSE. Wel merkt



Verkerk [125] op dat er geen sprake behoeft te zijn van een grote diskrepantie tussen het cijfer voor het schoolonderzoek en het cijfer voor het CSE wanneer het CSE van redelijk goede kwaliteit is, d.w.z. zoals de 'gemiddelde' leraar verwacht (zie hoofdstuk 5).

### Het eindexamenprogramma direkt na de mammoetwet

Het eindexamenprogramma natuurkunde havo bevatte met ingang van het schooljaar 1972/73 een korte lijst vaardigheden, twee opmerkingen en een korte uitwerking van de examenstof [93]. Deze summiere leerstofomschrijving is door een commissie ingesteld door Velines met instemming van de inspectie verduidelijkt [28]. Het eindexamenprogramma natuurkunde vwo bevatte met ingang van het schooljaar 1973/74 dezelfde korte lijst vaardigheden als het havo, een opmerking en de leerstoflijst. In afwachting van veranderingen op grond van een door de CMLN uit te brengen advies is deze de groepenlijst, die sinds 1955 wordt gehanteerd bij de eindexamens HBS-B. Wel wordt opgemerkt dat het karakter van de opgaven in het schriftelijk examen, meer dan tot nu toe bij de hogere burgerschool het geval was, het aksent zal leggen op het onderzoek naar de in het programma aangeduide vermogens en minder op een onderzoek naar het aanwezig zijn van parate kennis. Al eerder in dit hoofdstuk is vastgesteld dat de vwo-examens natuurkunde vanaf het begin een duidelijk ander karakter hadden dan de HBS-B-examens, maar dit verschil is zeker niet volledig door bovengenoemde formulering omschreven. Met betrekking tot het experiment in het natuurkundeonderwijs wordt in de vaardighedenlijst gezegd dat onderzocht zal worden 'in hoeverre de havo- en vwo-kandidaten vertrouwd zijn met natuurkundige experimenten' en 'in hoeverre zij inzicht hebben in natuurkundige methoden en deze methoden kunnen hanteren, waarbij de nadruk zal liggen op de empirische wijze van kennisverwerving'.

Volgens één van de opmerkingen in het havo-programma zal het tweede punt bij het havo-examen minder nadruk krijgen dan bij het vwo-examen. Het tweede punt is een algemene formulering, waarin zeker niet tot uitdrukking komt of nu praktikum of demonstratieproeven of geen van beide de gewenste werkvorm is om de leerlingen het gewenste doel te laten bereiken. Anders gesteld is het met het eerste punt. Het lijkt onmogelijk de leerlingen vertrouwd te maken met natuurkundige experimenten zonder de leerlingen zelf te laten experimenteren of ten minste te laten participeren bij demonstratieproeven. Echter ook bij het schriftelijk examen wordt onderzocht in hoeverre de kandidaten de bedoelde doelstelling bereikt hebben. Hiermee zwakt de wetgever de noodzaak tot het doen van praktikum in het bovenbouwonderwijs af. Weliswaar komen in de schriftelijke examens natuurkunde voor havo en vwo regelmatig fysische experimenten aan de orde maar de gestelde vragen kunnen ook voldoende beantwoord worden wanneer de leerlingen nooit zelf praktikum hebben gedaan. In het schoolonderzoek kan de doelstelling evenals bij het schriftelijk examen ge-

toetst worden door middel van een schriftelijk werk. Maar, en dit staat in een opmerking in het havo- en vwo-eindexamenprogramma, 'het verdient aanbeveling in het schoolonderzoek het leerlingenpraktikum te betrekken'.

### **Aankondiging van het praktikum schoolonderzoek**

In hoofdstuk 1 is al opgemerkt dat in augustus 1976 door het Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen een brief naar de scholen gestuurd is [92] met de aankondiging van nieuwe eindexamenprogramma's natuurkunde voor vwo, havo en mavo [94]. De nieuwe eindexamenprogramma's zijn tot stand gekomen naar aanleiding van voorstellen gedaan door de Commissie Modernisering Leerplan Natuurkunde [23]. De nieuwe programma's zijn zo op elkaar afgestemd dat binnen de vwo/havo-sektor goede doorstroming van leerlingen mogelijk is. In de brief wordt tevens opgemerkt:

'Bij het vaststellen van de omvang van de examenprogramma's is rekening gehouden met de wens meer ruimte te scheppen voor leerlingenpraktikum.'

Het woord 'meer' in bovenstaande formulering is niet duidelijk. Kennelijk wordt bedoeld meer ruimte dan bij het vaststellen van de omvang van de oude programma's steeds gebeurd is.

Met betrekking tot het havo is het nieuwe programma te beschouwen als een duidelijker omschrijving van het bestaande oude programma [93]. Omdat geen onderwerpen weggelaten zijn is de omvang van de stof gelijk gebleven.

Met het woord 'ruimte' in de formulering wordt bedoeld 'ruimte in tijd'. De totale tijd die beschikbaar is om het examenprogramma af te werken is niet veranderd, eigenlijk eerder korter geworden door vervroeging van de data van de centraal schriftelijke eindexamens. Als er dus voor het nieuwe programma meer tijd beschikbaar komt voor leerlingenpraktikum betekent dat minder tijd voor de examenstof. De omvang van de examenstof zou dus minder moeten zijn, hetgeen volgens het voorafgaande niet het geval blijkt te zijn. Ook de realiteit op de school blijkt anders. Ondanks het feit dat de leraren natuurkunde op havo- en vwo-scholen positief denken over praktikum in de bovenbouw voeren zij als belangrijkste belemmering voor leerlingenpraktikum aan: weinig tijd in de lessen (zie hoofdstuk 1). Bovendien is ruimte scheppen in het examenprogramma ter stimulering van praktikum in de bovenbouw niet voldoende. Er zijn meer belemmeringen die van school tot school kunnen verschillen zoals: weinig praktikumruimte, weinig geschikte proeven, weinig praktikummateriaal [43]. Daarom is de tijd die in 1978 aan bovenbouwpraktikum werd besteed betrekkelijk gering. Toch zullen de leraren gedwongen worden meer aan bovenbouwpraktikum te doen omdat in dezelfde brief met betrekking tot het havo en vwo gezegd wordt dat 'leerlingenpraktikum in de nieuwe regeling een verplicht onderdeel van het schoolonderzoek vormt'. De leraren hebben enige tijd gekregen om zich voor te bereiden op de nieuwe situatie want in de brief staat:

‘Om de docenten die tot nu toe in de laatste schooljaren weinig of in het geheel niet met leerlingen praktisch hebben gewerkt, voldoende mogelijkheden te bieden zich hierop voor te bereiden gaat de verplichting het leerlingenpraktikum in het schoolonderzoek natuurkunde bij het havo en vwo te betrekken, eerst in bij de examens in 1982.’

Het voorbereiden betekent dat de leraren de tijd gekregen hebben om leerlingenpraktikum in de bovenbouw op te zetten en om de leerlingen te oefenen in praktisch werk als voorbereiding op praktikum schoolonderzoek. Bovendien konden de leraren ervaring opdoen in het ontwikkelen van praktikumtoetsen en het organiseren van praktikum schoolonderzoek. Zo blijkt dat in 1978 op 41% van de havo en vwo scholen op een of andere manier praktisch schoolonderzoek georganiseerd is [43]. De organisatievorm varieert van individuele toetsen tot groepswork.

### **Praktikum schoolonderzoek in het examenprogramma**

Opmerkelijk is dat in de citaten uit de brief van het ministerie tot nog toe het woord leerlingenpraktikum genoemd wordt. Leerlingenpraktikum gebeurt op de scholen in het algemeen in groepjes van twee of meer waarbij van de experimenten groepsgewijs of individueel een verslag gemaakt wordt. Deze verslagen kunnen beoordeeld worden. De beoordeling zou dus mee moeten tellen voor het schoolonderzoekcijfer.

Dat deze manier om praktikum in het schoolonderzoek op te nemen niet bedoeld wordt volgt uit de opmerking onder deel II van ‘Programma’s natuurkunde eindexamens mavo, havo, vwo’. Daar staat [94]:

‘Bij het schoolonderzoek havo (natuurkunde) en bij het schoolonderzoek vwo (natuurkunde) wordt onder meer een onderzoek ingesteld naar het vermogen van de kandidaat aan zelf verrichte experimenten die op de examenstof betrekking hebben, waarnemingen te doen, deze onder woorden te brengen en hieruit konklusies te trekken. Bij dit onderzoek dient tevens te blijken, dat de kandidaat een veronderstelling op een binnen de examenstof gelegen terrein experimenteel kan verifiëren.’

Deze formulering wijst erop dat elke kandidaat individueel onderzocht moet worden. Hij moet zelf experimenten verrichten. Hij moet behalve waarnemingen doen ook verslag kunnen uitbrengen en konklusies kunnen trekken. Bovendien moet hij aan de hand van een hypothese binnen de examenstof een experiment kunnen opzetten om de veronderstelling te verifiëren.

Dit zou bij elke kandidaat bij het praktisch schoolonderzoek getoetst moeten worden. Bovenstaande formulering is dus te beschouwen als een aanscherping van het opnemen van praktikum in het schoolonderzoek.

Er wordt niet expliciet gezegd dat het praktikum schoolonderzoek objectief moet zijn. Men zou dus elke kandidaat van te voren een onderwerp kunnen opgeven of zelf een onderwerp kunnen laten kiezen, afhankelijk van z'n capaciteiten.

In het geval van individuele toetsing bij het praktisch schoolonderzoek kan dit onderdeel van het schoolonderzoek niet gezien worden als een evaluatie van het voorafgaande onderwijs omdat leerlingen zoals eerder opgemerkt is meestal praktikum bedrijven in groepjes van minstens twee. Bij dit praktikum zal een leerling door de onderlinge taakverdeling in het algemeen die vaardigheden oefenen die hij het beste beheerst. Dus praktikum in het kurrikulum zoals het momenteel gebeurt kan niet of nauwelijks gezien worden als een oefensituatie voor het praktisch schoolonderzoek in de door de wetgever bedoelde vorm.

### De huidige examenprogramma's natuurkunde

De huidige 'programma's natuurkunde eindexamens mavo, havo en vwo' zijn ondergebracht in één lijst [94]. De volgende delen worden onderscheiden:

- I examenstof,
- II opmerking,
- III duur schriftelijke zittingen,
- IV uitwerking,
- V toelichting.

De naamgeving van het eerste deel berust waarschijnlijk op een vergissing. Beter zou zijn 'eindtermen', 'doelstellingen' of 'vaardigheden' omdat in de lijst de vaardigheden worden genoemd die van de kandidaat verwacht worden om met de kennis van de natuurkundestof genoemd in de 'uitwerking' te kunnen werken.

De lijst vaardigheden (I) opgesteld door Auer, is letterlijk overgenomen uit Rapport 1974 van de CMLN [23] ondanks het feit dat Auer zelf kleine veranderingen noodzakelijk vond toen hij voorbeeldopgaven maakte die geschikt waren om de vaardigheden te toetsen [8]. De lijst heeft een kumulatief karakter: eerst wordt opgesomd wat er van een mavo-kandidaat wordt verwacht, vervolgens wat van een havo-kandidaat 'bovendien' wordt verwacht, daarna wat er van een vwo-kandidaat 'voorts' wordt verwacht. In de havo-lijst blijken in 10 van de 17 gevallen en in de vwo-lijst in 14 van de 24 gevallen in de beschreven vaardigheid de woorden fysisch verschijnsel, experiment of meetwaarden voor te komen. Toch kunnen volgens de wetgever alle in de lijst genoemde vaardigheden bij het schriftelijk examen getoetst worden. Ook Auer [8] toont, in sommige gevallen met veel kunst- en vliegwerk, aan dat alle vaardigheden door schriftelijke opgaven, zelfs door meerkeuzevragen, te toetsen zijn. Wel zal de leerling tijdens het voorafgaande onderwijsproces ervaringen opgedaan moeten hebben met demonstratie- en/of praktikumexperimenten. Een aantal vaardigheden lijken mij echter zeer moeilijk te toetsen zonder experiment, zoals:

D1. aan de hand van bekende wetten kunnen nagaan welke van enkele gegeven voorspellingen over de afloop van een tevoren niet bekend experiment in overeenstemming zal zijn met de werkelijke afloop ervan.

D4. aan de hand van bekende wetten kunnen nagaan of een gegeven voorspelling over de afloop van een tevoren niet bekend experiment al dan niet in overeenstemming is met de werkelijke afloop ervan.

De formulering van D1 en D4 verschilt niet veel. Bij D1 worden enkele voorspellingen gegeven waaronder de goede voorspelling en de leerling moet een keuze maken. De aanwezigheid van de goede voorspelling plaatst deze vaardigheid kennelijk op een lager niveau dan D4 (immers D1 geldt voor havo-kandidaten en D4 ook voor vwo-kandidaten) waar de leerling zonder alternatieven moet beslissen of een voorspelling goed of fout is. Een 'meer dan twee'-keuzevraag zou dus 'gemakkelijker' zijn dan een tweekeuzevraag. In beide formuleringen wordt gesproken over de *werkelijke* afloop van een experiment. Ik kan me dan levendig voorstellen dat een leerling na alle goede en foute voorspellingen wel eens wil zien wat er *werkelijk* gebeurt.

Als voorbeeld wil ik hier het joule-kelvineffect gebruiken [115]:

Tot de vwo-examenstof behoren de gaswetten voor een ideaal gas, adiabatische processen en de eerste hoofdwet van de warmteleer in de vorm:

$$Q = \Delta E_k + \Delta E_p + W_u$$

Omdat het joule-kelvineffect niet tot de examenstof behoort zullen de volgende proeven om het verschijnsel aan te tonen niet bekend zijn aan de leerlingen.

proef 1: de kraan van een cilinder met zuurstof of stikstof opendraaien en de temperatuur voor de uitstroomopening meten met een kwikthermometer.

proef 2: hetzelfde met een cilinder gevuld met waterstof.

Leerlingen moeten het smoorproces voor een ideaal gas met de eerste hoofdwet en de gaswetten kunnen verklaren. Daarna kan overgestapt worden op een reëel gas. Om vervolgens alleen maar te vertellen dat in werkelijkheid in geval van proef 1 een temperatuurdaling en in het geval van proef 2 een temperatuurstijging optreedt lijkt mij zeer onbevredigend.

In deel II van het eindexamenprogramma vinden we de eerder besproken opmerkingen over het praktikum schoolonderzoek en in deel III is de duur van de schriftelijke examens voorgeschreven. Deel IV van het examenprogramma geeft een gedetailleerde omschrijving van de examenstof in vier kolommen respectievelijk voor mavo-3, mavo-4, havo en vwo. De vwo-kolom bevat ook de zogenaamde keuzegroepen, waarvan er jaarlijks twee tot de examenstof behoren. In de toelichting (deel V) staan opmerkingen over de interpretatie van de examenstof.

## NVON en het huidige eindexamenprogramma

De Nederlandse natuurkundeleraren hebben door middel van de NVON (de sectie natuurkunde) ruimschoots de gelegenheid gehad zich uit te spreken over het door de CMLN voorgestelde examenprogramma. Door de

NVON zijn regionale besprekingen georganiseerd, waar de meningen van de leden over belangrijke punten werden gepeild [56]. Een samenvatting van de meningen [2] is aan de leden van de 'kommissie eindexamenprogramma's mavo, havo, vwo' toegezonden. Deze commissie heeft de staatssekretaris een definitief voorstel gedaan wat geleid heeft tot het eerder beschreven eindexamenprogramma. Hoewel de commissie gezien haar opdracht geen fundamenteel andere voorstellen kon doen dan de voorstellen van de CMLN heeft de commissie toch enkele overwegingen gepubliceerd [57] die aangeven op welke wijze de NVON inspraakprocedure gefunctioneerd heeft. Eén van de overwegingen heeft betrekking op het praktikum schoolonderzoek. Opgemerkt wordt o.a.: 'Het praktikum dient een zo geïntegreerd onderdeel van het natuurkundeonderwijs te zijn, dat dit aspect ook in het eindexamen opgenomen behoort te zijn.' Een andere overweging betreft aanpassingsmogelijkheden van het examenprogramma: 'Het natuurkundeonderwijs maakt methodisch/didactisch en inhoudelijk een zeer snelle ontwikkeling door. Het is te voorzien dat een regelmatige aanpassing van de programma's aan het zich wijzigende onderwijs zal moeten plaatsvinden.'

Uit de bespreking van de CMLN-examenvoorstellen was al naar voren gekomen dat men in de meeste kringen de exameneisen onduidelijk vond [2]: 'Uit de lijst met doelstellingen en de leerstoflijst is niet op te maken hoe het examen er uit ziet, welke doelstellingen worden getoetst en aan welke leerstof de doelstellingen worden getoetst.' Deze onvrede leidde eind 1978 tot de instelling van een werkgroep eindexamens natuurkunde door de natuurkundesektie van de NVON. Het belangrijkste doel van de werkgroep was een koppeling tot stand te brengen tussen de lijst met onderwerpen uit het examenprogramma en de lijst met vaardigheden die daaraan vooraf gaat om daarmee meer duidelijkheid te verschaffen over de exameneisen havo/vwo zonder daarbij het examenprogramma te veranderen [44]. De werkgroep had de steun van de inspectie [108]. Eind 1980 heeft de werkgroep een concept geherformuleerd eindexamenprogramma natuurkunde havo en vwo ter discussie aan de leraren gepresenteerd [132]. Ruim een jaar later verscheen het geherformuleerde programma. Dit betreft de doelstellinglijst en de lijst met examenstof [36].

### **Geherformuleerd examenprogramma natuurkunde**

Het geherformuleerde eindexamenprogramma bestaat uit twee gedeelten. Ten eerste: het algemene deel waarin naast de algemene doelstellingen ook een lijst van wiskundige begrippen en vaardigheden is opgenomen. Ten tweede: een specifiek deel volgens dezelfde indeling als de bestaande lijst met examenstof waarin per onderwerp een begrippenlijst, een formule-overzicht en een lijst met leerdoelen (maximumdoelen) is ondergebracht. Ter vervanging van de opmerking onder deel II van het huidige examenprogramma zijn een aantal doelen betreffende het praktisch schoolonderzoek

geformuleerd en opgenomen in het algemene deel. In een toelichting op de doelstellingen wordt opgemerkt dat het duidelijk is dat deze doelen vrij marginaal moeten zijn omdat de scholen hiervoor zelf de eindverantwoordelijkheid dragen. Ook wordt gezegd dat deze doelen vaak in combinatie met andere genoemde algemene doelstellingen op het praktische schoolonderzoek aan de orde zullen komen.

De doelstellingen betreffende het praktisch schoolonderzoek zijn als volgt geformuleerd:

'Bij het praktisch gedeelte van het schoolonderzoek wordt van havo en vwo kandidaten verwacht dat zij:

1. naar aanleiding van een probleemstelling, beschrijving of afbeelding een experimentele opstelling kunnen maken;
2. in staat zijn om experimentele omstandigheden, die betrekking hebben op het te onderzoeken probleem, te veranderen;
3. de meetinstrumenten kunnen hanteren en waarnemingen kunnen doen, daarbij rekening houdend met de in verband met de probleemstelling benodigde nauwkeurigheid;
4. in staat zijn te rapporteren over het experiment.'

Deze nieuwe formulering betekent een verlichting in vergelijking met de oude waar gezegd wordt dat bij het schoolonderzoek onder meer een onderzoek ingesteld wordt naar het vermogen van de kandidaat aan zelf verrichte experimenten waarnemingen te doen, deze onder woorden te brengen en hieruit konklusies te trekken terwijl hij tevens een veronderstelling experimenteel moet kunnen verifiëren. Dit zou allemaal bij het schoolonderzoek getoetst moeten worden bij elke kandidaat, zoals al eerder is opgemerkt. In de nieuwe formulering worden de vier vermelde vaardigheden weliswaar van de kandidaat verwacht maar ze behoeven gezien de formulering niet alle getoetst te worden. Wel moet ten minste één van de vier getoetst worden omdat praktikum een verplicht onderdeel van het schoolonderzoek is.

Het geherformuleerde eindexamenprogramma is tot stand gekomen naar aanleiding van de wens uit 'het veld' om meer duidelijkheid te brengen in het huidige examenprogramma met name met betrekking tot het schriftelijk eindexamen. De doelstellingskommissie van de sekte natuurkunde van de NVON heeft haar taak zeer zorgvuldig uitgevoerd. Zij heeft zoals zijzelf zegt gepoogd om de juiste middenweg te vinden tussen enerzijds een zo compleet mogelijke beschrijving van alles wat op de examens gevraagd zou mogen worden en anderzijds de huidige situatie waarbij te veel helemaal niet vast ligt. Zij merkt verder op: 'Alles vastleggen zou betekenen een onhandig grote opsomming maken, die in de praktijk niet funktioneert. Bovendien moet men dan beducht zijn voor een verstarring van de eindexamens. De hier gepresenteerde mate van detaillering is ons insziens nog goed hanteerbaar en laat zeker ook speelruimte voor originele examenvragen.'

Naar aanleiding van deze uitspraken wil ik enkele kanttekeningen maken:

1. De gegeven beschrijving van doelstellingen en examenstof zal inderdaad voor leraren bij de behandeling van de stof in de praktijk goed kunnen functioneren maar minder voor degenen die willen weten welke natuurkundeonderwerpen de havo- of vwo-kandidaten gehad hebben. Voor hen is de beschrijving veel te omvangrijk. Het programma is ook niet leerlinggericht geschreven.
2. Bij zeer gespecificeerde gedragsleerdoelen moet men niet alleen beducht zijn voor verstarring van de eindexamens. Er zijn meer bezwaren aan te voeren zoals al in hoofdstuk 3 is opgemerkt. Ik noem een aantal bezwaren van Lijnse [87] die mijns inziens van toepassing kunnen zijn:
  - a. het risico is aanwezig dat tijdens en in het onderwijs een zekere verstarring en beperking optreedt, omdat de docent zich uitsluitend richt op de geformuleerde doelen.
  - b. de veelheid van doelen kan leiden tot een versnippering van het onderwijs.
  - c. het feit dat sommige doelen zich gemakkelijker tot verwezenlijking in het onderwijs lenen dan andere kan leiden tot eenzijdig aksentueren van doelen die gemakkelijk meetbaar zijn (b.v. formulewerk).
  - d. vernieuwingsactiviteiten kunnen sterk belemmerd worden dus ook de discussies over veranderingen in het examenprogramma die daaruit voortvloeien. Dit geldt niet alleen voor vernieuwingsactiviteiten op een individuele school die binnen een minder scherp omschreven eindexamenprogramma kunnen plaatsvinden maar ook voor grotere vernieuwingsprojecten zoals het PLON en het in 1980 gestarte vwo-bovenbouwproject [31].
3. Wellicht is er nog speelruimte binnen het omschreven examenprogramma voor originele examenvragen maar deze speelruimte is zo beperkt geworden dat de 'doelbepalende functie' van het eindexamen vrijwel onmogelijk geworden is. Deze doelbepalende functie van het eindexamen houdt in dat door middel van de eindexamens naar onderwijsdoelstellingen wordt toegewerkt. Vernieuwingen in het onderwijs kunnen worden bewerkstelligd door het eindexamen [1]. Dit is op het vwo gebeurd ondanks de 'oude' HBS groepenlijst maar wel dankzij de ruimte in het eindexamenprogramma.

Naar verwachting zal vanaf 1985 bij het opstellen van de eindexamens rekening gehouden worden met het geherformuleerde eindexamenprogramma natuurkunde. Wijzigingen in het examenprogramma aanbrengen is een procedure van ten minste 3 jaar die vooral wanneer het inhoudelijke wijzigingen betreft veel moeilijkheden met zich mee kan brengen. De overweging van de 'kommissie eindexamenprogramma's mavo, havo, vwo' dat 'een regelmatige aanpassing van de programma's aan het zich wijzigende onderwijs zal moeten plaatsvinden' [57] is dus in de praktijk niet of zeer moeilijk realiseerbaar. Door de geringe ruimte in de examenprogramma's zullen niet alleen de vernieuwingsactiviteiten belemmerd worden (punt 2d) maar vernieuwingsgedachten kunnen ook moeilijker via het eindexamen het on-



derwijs binnenkomen (punt 3) zodat de enige mogelijkheid voor vernieuwing in het bovenbouw onderwijs te vinden is in verandering van het eindexamenprogramma dat voor de eerst komende tijd slechts geherformuleerd is.

### **Praktikum en eindexamenprogramma**

Zowel het huidige eindexamenprogramma als het geherformuleerde programma laat aan de docenten voldoende ruimte voor eigen inrichting van praktikum in de bovenbouw en van praktikum schoolonderzoek. De omschrijving van de doelstellingen is in beide gevallen vaag.

Omdat de eindverantwoordelijkheid van het schoolonderzoek, dus ook voor het praktikum schoolonderzoek primair bij de school ligt is het duidelijk dat de doelen met betrekking tot praktikum schoolonderzoek slechts zeer marginaal in het eindexamenprogramma omschreven behoren te worden. Een nauwkeuriger omschrijving is ook niet mogelijk omdat er in Nederland te weinig ervaring is in het ontwerpen en evalueren van praktikumtoetsen. Er is bovendien nooit onderzocht welke praktikumdoelstellingen nu specifiek bij het praktikum schoolonderzoek aan de orde moeten komen. Noch de huidige noch het geherformuleerde examenprogramma geven de docenten enige aanwijzing op welke wijze het praktikum in de bovenbouw en het praktikum schoolonderzoek het best ingericht kan worden om de leerling die praktikumvaardigheden te verschaffen die gewenst zijn in zijn toekomstig functioneren.

## Hoofdstuk 5

### HET ONDERZOEK 'PRAKTIKUM SCHOOLONDERZOEK NATUURKUNDE'

*Kein Phänomen erklärt sich an und aus sich selbst; nur viele zusammen überschaut, methodisch geordnet, geben zuletzt etwas, was für Theorie gelten könnte.*

*Johann Wolfgang Goethe*

Begin 1978 is initiatief genomen om vanuit de groep Didaktiek Natuurkunde een veldgericht onderzoeksproject 'Schoolonderzoek natuurkunde op havo- en vwo-scholen' te starten. In de loop van de tijd heeft het onderzoek zich toegespitst op het praktikum schoolonderzoek. Gedurende het onderzoek is medewerking verkregen van stagiairs van de afdelingen N, E en Wsk van de Technische Hogeschool Eindhoven. Er is samengewerkt met de natuurkundesekties van zeven scholen in Eindhoven en omgeving:

Augustinianum Scholengemeenschap	Eindhoven
St. Joriscollege	idem
van der Putt Scholengemeenschap	idem
Gemeentelijke Scholengemeenschap Woensel	idem
Carolus Borromeuscollege	Helmond
Dr. Knippenbergcollege	idem
Mgr. Zwijsencollege	Veghel

Aan het 'Praktikum Schoolonderzoek' gingen twee korte onderzoeksprojecten vooraf.

1. enquête natuurkunde op havo- en vwo-scholen,
2. cijfers schoolonderzoek en centraal schriftelijk examen.

#### **Enquête natuurkunde op havo- en vwo-scholen**

De enquête is verstuurd naar alle natuurkundesekties van havo- en vwo-scholen in Nederland. De enquête is opgesteld en geëvalueerd in samenwerking met Ellermeijer [43] die aan de universiteit van Amsterdam een onderzoeksproject over praktikum in de bovenbouw wilde starten. Dit project is uitgebreid en omgevormd tot het z.g. vwo-bovenbouwproject, een samenwerkingsproject tussen de natuurkundedidaktiekafdelingen van de universiteiten van Amsterdam en Groningen en het PLON uit Utrecht samen met natuurkundesekties van verschillende scholen [31]. Voor het gedeelte van de resultaten van de landelijke enquête dat relevant is voor mijn onderzoek kan ik verwijzen naar hoofdstuk 1.

Een proefversie van de enquête is aan het eind van de cursus 1977/78 voorgelegd aan de natuurkundesecties van de zeven scholen van het samenwerkingsverband. In het algemeen vertoonden de antwoorden op de vragen voor deze groep scholen grote overeenkomst met de antwoorden die binnengekomen zijn op de landelijke enquête. Er werd gemiddeld wat minder aan praktikum in de bovenbouw gedaan; op twee van de zeven scholen tot dan toe helemaal niet. Ook werden er wat meer proeven in de bovenbouw gedemonstreerd. Slechts twee scholen hadden gedurende de afgelopen cursus praktikum in het schoolonderzoek opgenomen.

### Cijfers schoolonderzoek en centraal schriftelijk examen [125]

Het doel van dit onderzoek was de cijfers voor het schoolonderzoek (SO) en voor het centraal schriftelijk examen (CSE) natuurkunde zowel per school als voor de groep scholen van het samenwerkingsverband met elkaar te vergelijken om na te gaan of er sprake is van systematische verschillen. Op het eind van de cursus 1977/78 zijn de cijfers verzameld van 250 havo- en 360 vwo-leerlingen.

Per school en voor de totale groep zijn gemiddelden en standaarddeviaties bepaald zowel van SO- als van CSE-cijfers. Er is daarbij ook onderscheid gemaakt tussen 'goede' en 'slechte' leerlingen. Onder goede respectievelijk slechte leerlingen verstaan we in dit geval leerlingen die voor SO én voor CSE boven respectievelijk onder het gemiddelde van de totale groep skoren. Verder zijn de SO- en CSE-cijfers weergegeven in spreidingsdiagrammen. De korrelatiecoëfficiënten en regressielijnen zijn berekend (voor een toelichting op de gebruikte statistische begrippen zie hoofdstuk 6). Enige resultaten wat betreft het havo zijn te zien in tabel 4.

tabel 4: havo

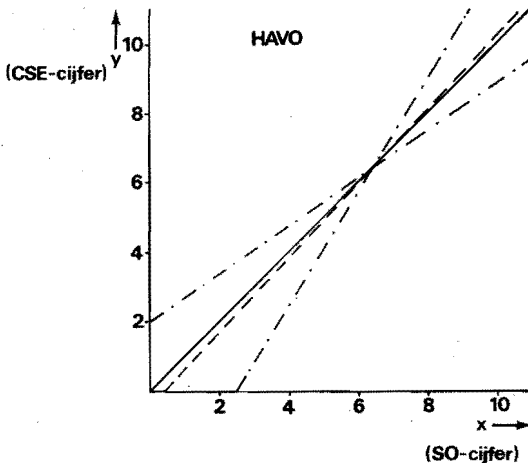
School	$\bar{x}$ = gem. SO	$\bar{y}$ = gem. CSE	$s_x$	$s_y$	korr. $r_{xy}$	slechte leerlingen		goede leerlingen		$\frac{\Delta\bar{y}}{\Delta\bar{x}}$
						$\bar{x}_1$	$\bar{y}_1$	$\bar{x}_2$	$\bar{y}_2$	
1	7,0	6,3	0,9	1,1	0,79	6,0	5,3	7,8	7,3	1,11
2	6,2	6,4	1,0	1,3	0,63	5,3	5,2	7,1	7,6	1,33
3	5,7	6,6	1,2	1,4	0,86	4,9	5,5	7,0	8,0	1,19
4	5,8	6,0	1,2	1,2	0,75	5,1	5,3	7,5	7,4	0,88
5	6,5	7,1	0,9	1,2	0,74	5,9	5,6	7,1	7,7	1,75
6	6,5	6,6	1,1	1,3	0,83	5,5	5,4	7,5	7,6	1,10
7	6,6	6,2	1,2	1,1	0,58	5,2	5,3	7,4	7,2	0,86
totaal (250 lin)	6,4	6,5	1,1	1,2	0,66	5,4	5,4	7,4	7,5	1,05

Het gemiddelde SO-cijfer ( $\bar{x}$ ) en het gemiddelde cijfer voor het CSE ( $\bar{y}$ ) is voor de 250 havo-leerlingen van de zeven scholen vrijwel gelijk, respectievelijk 6,4 en 6,5. Per school bekeken is het verschil vaak groter; maximaal 0,9 punt, soms ten voordele van het schoolonderzoek, soms ten voordele van het centraal schriftelijk werk. De standaarddeviatie ligt meestal op ruim 1 punt. Dit betekent, uitgaande van een normale verdeling van de cijfers, dat er zelden een cijfer boven de 9 en ook zelden een cijfer onder de 4 voorkomt. Bovendien is de standaarddeviatie voor de SO-cijfers in de meeste gevallen kleiner dan de standaarddeviatie voor de CSE-cijfers. Dit kan het gevolg zijn van:

1. de neiging van de leraar om bij het schoolonderzoek wat voorzichtig te cijferen,
2. het feit dat het SO-cijfer een gemiddelde is van meerdere cijfers voor diverse toetsen in tegenstelling tot het CSE cijfer.

Een geringere spreiding in de cijfers voor het schoolonderzoek betekent dat goede leerlingen wat hun SO-cijfer betreft iets 'gedrukt' worden, terwijl slechte leerlingen een weinig worden 'opgevijseld'.

Deze tendens wordt bevestigd wanneer we de gemiddelden bekijken van de door ons gedefinieerde goede en slechte leerlingen. De helling van de lijn die de zwaartepunten van de goede leerlingen en van de slechte leerlingen in de x-y grafiek verbindt ( $\frac{\Delta \bar{y}}{\Delta \bar{x}}$ ) is voor de meeste scholen groter dan 1,00 (zie tabel 4). Voor het totaal aantal havo-leerlingen is de helling van de lijn 1,05 (grafiek 1).



Grafiek 1  
 ——— 45° lijn  
 - - - lijn van goede/slechte leerlingen  
 - · - · regressielijnen

In de grafiek zijn ook de 45°-lijn en de twee regressielijnen getekend. Het snijpunt van de regressielijnen is het zwaartepunt van de twee examencijfers van alle havo-kandidaten. De ligging van de lijnen geeft een indicatie voor de vorm van de puntenwolk die evenmin als die van elk van de scholen afzonderlijk getekend is.

Voor de 360 vwo-leerlingen is het gemiddelde SO-cijfer en het gemiddelde CSE-cijfer gelijk (tabel 5). Per school is het verschil maximaal 0,5 punt.

tabel 5: vwo

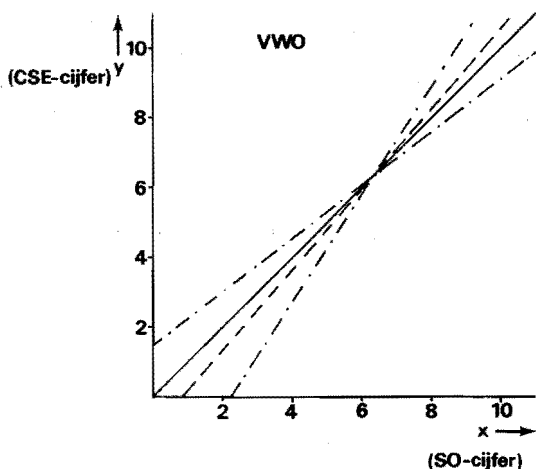
School	$\bar{x}$ = gem. SO	$\bar{y}$ = gem. CSE	$s_x$	$s_y$	korr. $r_{xy}$	slechte leerlingen		goede leerlingen		$\frac{\Delta \bar{y}}{\Delta \bar{x}}$
						$\bar{x}_1$	$\bar{y}_1$	$\bar{x}_2$	$\bar{y}_2$	
1	6,8	7,2	1,2	1,2	0,80	5,6	5,9	7,6	8,0	1,05
2	6,7	7,2	1,1	1,4	0,88	5,5	5,6	7,6	8,3	1,29
3	6,7	6,3	0,9	1,3	0,81	6,2	5,6	7,8	8,0	1,50
4	6,1	6,1	1,3	1,3	0,65	5,2	5,2	7,4	7,6	1,09
5	7,0	6,8	0,9	1,2	0,73	5,9	5,6	7,7	7,7	1,17
6	6,5	6,2	1,1	1,2	0,59	5,5	5,4	7,6	7,6	1,05
7	6,1	5,6	1,7	1,4	0,77	5,2	5,0	8,2	7,7	0,90
totaal 360 lhn)	6,5	6,5	1,3	1,4	0,74	5,5	5,35	7,7	7,9	1,16

De standaarddeviaties zijn in het algemeen iets groter dan bij het havo. Extreem lage cijfers van examenkandidaten komen op een school niet voor terwijl dit wel het geval is bij staatsexamenkandidaten.

De standaarddeviatie van de CSE-cijfers is ook op het vwo groter dan de standaarddeviatie van de SO-cijfers. Ook op het vwo worden dus goede leerlingen bij het schoolonderzoek vaak iets gedrukt en slechte leerlingen opgevijseld in de beoordeling. Deze tendens wordt bevestigd wanneer de zwaartepunten van door ons gedefiniëerde goede en slechte leerlingen in de x-y grafiek bepaald worden. De lijn die de zwaartepunten verbindt heeft meestal een helling ( $\frac{\Delta \bar{y}}{\Delta \bar{x}}$ ) groter dan 1,00. In grafiek 2 is dit voor het totaal aantal vwo-leerlingen te zien.

In de grafiek zijn ook de twee regressielijnen getekend. De hoek tussen de twee lijnen is kleiner dan op het havo. De korrelatiecoëfficiënt  $r_{xy}$  is op het vwo dan ook groter (tabellen 4 en 5).

Het schriftelijk eindexamen natuurkunde in 1978 was volgens een door de NVON gehouden enquête onder natuurkundeleraars zowel voor het havo



*Grafiek 2*  
 ——— 45° lijn  
 - - - lijn van goede/slechte leerlingen  
 - · - · regressielijnen

als voor het vwo van redelijk goede kwaliteit [129]. In dat geval zal er geen grote discrepantie mogen bestaan tussen de cijfers voor het schoolonderzoek en de cijfers voor het centraal schriftelijk werk. Natuurlijk kunnen er per leerling wel eens verschillen zijn, zowel ten voordele van het schoolonderzoek als ten voordele van het centraal schriftelijk werk omdat het schoolonderzoek een eigen karakter heeft waardoor de kwaliteiten van de kandidaat in een ander licht kunnen worden geplaatst en uit een ander gezichtspunt kunnen worden beoordeeld. Ook tussen de scholen onderling kunnen er wat verschillen bestaan afhankelijk van de toetsvormen bij het schoolonderzoek. Op de onderzochte scholen blijkt een redelijk goede overeenstemming tussen de SO- en CSE-cijfers. Het verschil tussen de gemiddelde cijfers is steeds kleiner dan één punt. De correlatiecoëfficiënt ligt tussen 0,6 en 0,9 (tabellen 4 en 5). De tendens om voor het schoolonderzoek te hoog te cijferen, voortkomend uit een te milde houding van de leraar, is op de zeven scholen niet aanwezig.

### Het samenwerkingsverband

De natuurkundesekties van de zeven scholen hebben zich in 1978 in principe bereid verklaard tot samenwerking. Door middel van participatie in het onderzoeksproject was het voor de docenten van de scholen mogelijk om begeleid door de groep didactiek natuurkunde ervaring op te doen met praktikum schoolonderzoek.

Omdat de inrichting van het schoolonderzoek een zaak is van de school zelf kon deze samenwerking ondanks de bereidheid daartoe niet al te ver doorgevoerd worden. De mogelijkheden voor samenwerking werden per school min of meer beperkt door een aantal factoren:

1. de organisatie van het schoolonderzoek op de school zelf zoals die vastgesteld is door de schoolleiding en sectie,
2. de beschikbaarheid van materiaal en ruimte op de school,
3. het aantal eindexamenkandidaten voor natuurkunde,
4. de tijd die in de bovenbouw aan leerlingenpraktikum is besteed,
5. de wijze waarop de stof in de klas behandeld is,
6. de definitieve formulering van de probleemstelling.

Deze factoren hadden tot gevolg dat sommige scholen slechts gedeeltelijk, in gewijzigde vorm of na verloop van tijd en sommige scholen helemaal niet hebben deelgenomen aan de gemeenschappelijke schoolonderzoeken gedurende de afgelopen jaren.

De totstandkoming van de definitieve toetsen die meestal in maart of april afgenomen werden verliep in het algemeen als volgt.

Aan het begin van de cursus (augustus) vonden besprekingen plaats over het aantal toetsen, de vorm van de toetsen en de data van afname. Vervolgens werden onder mijn verantwoordelijkheid een aantal concepttoetsen ontwikkeld, meestal door stagiairs. Omstreeks de kerstvakantie werd in overleg met de verantwoordelijke docenten een keuze gemaakt uit de beschikbare concepttoetsen. Daarna volgde een aantal bijeenkomsten met de leraren om tot een definitieve versie te komen. De coördinatie van het geheel werd door mij verzorgd. Tevens werd zonodig technische hulp verleend, en er werden adviezen gegeven over organisatie en normering van de toetsen. Nadat de toetsen door de verantwoordelijke docenten nagekeken en beoordeeld waren volgens hun eigen inzichten werden de toetsen opnieuw door ons nagekeken en alle kandidaten volgens dezelfde normen beoordeeld. De verschillen tussen de scores toegekend door de onafhankelijke beoordelaar en door de eigen docent waren in het algemeen gering. Daarom is bij de toetsen gehouden gedurende de cursus 1981/82, afgegaan op de beoordeling door de docent waarbij hem gevraagd is zich nauwkeurig aan de voorgeschreven normering te houden. De opzet en evaluatie van de toetsen is beschreven in hoofdstukken 7, 8, 9 en 11.

### **Probleemstelling en doel van het onderzoek**

Volgens Hofstein en Lunetta [62] is veel onderzoek verricht naar de rol van het praktikum in het natuurwetenschappelijk onderwijs en ook in het natuurkundeonderwijs. Toch is volgens hen nooit een afdoend antwoord gevonden op de vraag welke invloed praktikum heeft op het onderwijs in de natuurkunde. Dat praktikum geen nadelige invloed heeft op de eindexamenresultaten heeft Steller [113] laten zien. Bovendien heeft hij aangetoond dat leerlingen die zelf proeven hebben gedaan beter in staat zijn het

geleerde in konkrete (nieuwe) situaties te herkennen en toe te passen, dan leerlingen van hetzelfde verbale prestatieniveau, die geen praktikum hebben gehad'. Het onderzoek door Steller is in Nederland uitgevoerd in het begin van de jaren zestig. Herhaling of voortzetting van een dergelijk onderzoek heeft niet plaatsgevonden. Toch heeft het praktikum in Nederland zich sinds die tijd sterk ontwikkeld (hoofdstuk 1) en daarbij hebben zich nieuwe onderzoeksvragen aangediend.

Achtergronden van deze vragen die van toepassing zijn op het door mij verrichte onderzoek zijn beschreven in hoofdstukken 1 t/m 4. Ik geef van deze achtergronden een samenvatting.

1. De invoering van het schoolonderzoek heeft mogelijkheden geopend voor nieuwe toetsingsmethoden.
  - het experiment praktisch schoolonderzoek (havo) leverde de conclusie dat praktische toetsen meer categorieën van de taxonomieën van Bloom en Klopfer toetsen dan de schriftelijke eindexamens in de voorafgaande jaren (hoofdstuk 2).
  - Individuele natuurkundeleraren hebben op hun scholen op vele manieren geprobeerd praktikum in het schoolonderzoek op te nemen (hoofdstuk 2).
2. In het nieuwe eindexamenprogramma is praktisch schoolonderzoek een verplicht onderdeel met ingang van de cursus 1981/82.
  - Vanaf 1976 worden alle natuurkundeleraars aangezet ervaring op te doen met praktisch schoolonderzoek; in 1978 wordt op 41% van de scholen op een of andere wijze praktisch schoolonderzoek gedaan (hoofdstuk 1).
  - Ook het CITO is begonnen met het ontwikkelen van praktische toetsen (hoofdstuk 1).
3. Niet alle doelstellingen voor praktikum zijn bruikbaar voor de synthese en analyse van praktische toetsen (hoofdstuk 3).
  - In het buitenland zijn allerlei soorten doelstellingslijsten voor praktikum opgesteld.
  - In Nederland heeft het CITO een zeer gedetailleerde lijst opgesteld die bruikbaar zou zijn voor de synthese en analyse van toetsen in het kader van het praktische schoolonderzoek.
4. In het nieuwe eindexamenprogramma zijn de bij het praktikum schoolonderzoek te toetsen vaardigheden marginaal omschreven (hoofdstuk 4).
  - Het is niet duidelijk op welke wijze getoetst kan worden.
  - Het is niet duidelijk welke vaardigheden getoetst kunnen worden.

De invoering van het praktikum schoolonderzoek is het gevolg geweest van de wens van een steeds groter wordende groep natuurkundeleraren om het praktikum met name in de bovenbouw een groter gewicht toe te kennen. Uit eerder genoemde vier achtergrondsaspecten moge duidelijk zijn dat deze invoering zeker niet gebaseerd is op enig onderzoek naar de functie van het praktikum schoolonderzoek. Dit betekent dat de omschrijvingen met betrekking tot het praktikum schoolonderzoek in de eindexamenprogramma's slechts vaag kunnen zijn en dat de leraren natuurkunde geen duidelijk-



heid hebben op welke wijze het praktikum schoolonderzoek het best ingericht kan worden en welke vaardigheden bij het praktikum schoolonderzoek getoetst kunnen worden. Dit probleemgerichte onderzoek is bedoeld om de Nederlandse natuurkundeleraren meer duidelijkheid te geven bij de inrichting van het praktikum schoolonderzoek op hun school.

De onderzoeksvragen zijn:

1. In hoeverre zijn doelstellingen van het natuurkundeonderwijs door middel van statistische analyses van skores te onderscheiden?
2. Kunnen praktikumtoetsen in het schoolonderzoek andere doelstellingen van het natuurkundeonderwijs toetsen dan schriftelijke toetsen?
3. Welke doelstellingen van het natuurkundeonderwijs zijn alleen toetsbaar door middel van praktikumtoetsen?
4. Welke type praktikumtoetsen is het meest geschikt om die doelstellingen van het natuurkundeonderwijs te toetsen?

### **De gevolgde onderzoeksstrategie**

De eigen ervaringen met praktisch schoolonderzoek (hoofdstuk 2) en de daarbij verworven praktische deskundigheid in het ontwikkelen van toetsen waren van voordeel bij de totstandkoming van het samenwerkingsverband en de samenwerking met de leraren daarna. Er is gekozen voor een vrij klein aantal scholen waarmee intensief en door de jaren heen samengewerkt kon worden.

Een goede kommunikatie met de docenten was noodzakelijk om betrouwbare gegevens van leerlingen te verkrijgen. Ook de opzet van het praktische schoolonderzoek werd jaarlijks in nauw overleg vastgesteld. Daarbij werd gebruik gemaakt van de ervaringen in de afgelopen jaren. Daarnaast werden ook steeds nieuwe ideeën ingebracht.

Om antwoord te vinden op de gestelde onderzoeksvragen kan men twee lijnen in het onderzoek volgen:

1. het ontwikkelen, organiseren en realiseren van de verschillende soorten toetsen;
2. het evalueren van de gemaakte toetsen.

Na de twee eerder beschreven korte vooronderzoeken zijn gedurende de cursus 1978/79 zowel voor het havo als voor het vwo twee schoolonderzoektoetsen ontwikkeld, elk bestaande uit drie of vier theorieopgaven en een demonstratieopgave. Deze toetsen maakten het mogelijk naar onderscheid te zoeken tussen verschillende schriftelijk toetsbare vaardigheden en vaardigheden die bij een demonstratieproef aan de orde komen. De demonstratieopgaven waren bovendien voor de leerlingen die weinig of geen ervaring hadden met praktikum in de bovenbouw, billijker dan praktikumopgaven. Op grond van de opgedane ervaringen en op grond van het feit dat meer docenten praktikum in de bovenbouw opgezet hebben is het jaar daarop een praktikumtoets voor het vwo ontwikkeld. In de jaren daarna zijn voor het havo en voor het vwo steeds praktikumtoetsen ontwikkeld

waarbij geëxperimenteerd is met toetsen van verschillende vorm en opzet en met verschillende manieren om de toetsen te beoordelen. In toenemende mate is gezocht naar mogelijkheden om de typische praktikumvaardigheden expliciet te toetsen. Bij de evaluatie is gebruik gemaakt van statistische verwerkingsmethoden. Naast eenvoudige statistische bewerkingen zoals bepaling van gemiddelde, standaarddeviatie en korrelatiecoëfficiënt zijn ook multivariate analyses toegepast (hoofdstuk 6).

De verwerking van de grote hoeveelheid gegevens vond plaats in het rekencentrum (B7700-systeem) met gebruik van de statistische programmatuur 'SPSS'.

## Iets over toetsen

De Groot [53] geeft de volgende enge opvatting van de term studietoets:

'Ieder proefwerk, examen, tentamen, ieder hulpmiddel voor schriftelijke toetsing van door onderwijs en studie verworven kennis, inzicht of vaardigheid op een of ander vakgebied, mits de bepaling van de skore (het aantal goede antwoorden), die een (proef-)persoon behaald heeft, geheel objektief kan geschieden.'

Het begrip objektief heeft hier de betekenis:

'zó, dat de persoon van de beoordelaar, mits hij zich aan de skoringsvoorschriften houdt, géén rol meer kan spelen.'

De inhoud van de studietoets kan volgens deze omschrijving subjektief bepaald worden.

Volgens de Groot's definitie kan de praktikumtoets niet opgevat worden als een studietoets. De definitie is erg toegespitst op meerkeuzetoetsen. Solberg (CITO) omschrijft het begrip toets ruimer:

'Een toets is iedere procedure die leidt tot een uitspraak over kennis, begrip en vaardigheid van iemand op grond van door hem behaalde resultaten naar aanleiding van een aantal gegeven opdrachten.'

Hieraan zou toch iets over de objectiviteit van de uitspraak toegevoegd moeten worden. Het is vaak wenselijk dat de storende factoren die het proces van beoordelen kunnen beïnvloeden zoveel mogelijk uitgeschakeld worden. Men kan dit bij open vragen, een verzamelbegrip voor vragen waarbij de kandidaten zelf het antwoord moeten opschrijven, bereiken door te werken met in- en aanvulvragen of kort-antwoordvragen in plaats van met lang-antwoordvragen of opstelvragen. Grote onderwerpachtige vragen kan men zoveel mogelijk 'getrapt' maken.

Daarnaast kan men een aantal richtlijnen opstellen bij de konstruktie van open vragen die tot doel hebben de beoordeling daarna betrouwbaar te maken [72].

De persoonlijke invloeden van de beoordelaar kunnen ook verkleind worden door te werken met nauwkeurig samengestelde korrektievoorschriften [68]. De betrouwbaarheidscoëfficiënt of betrouwbaarheid van een toets is gedefiniëerd als [53]:

$$r_{xx} = \frac{V_w}{V_x} = \frac{V_w}{V_w + V_e}$$

waarin  $V_w$  = ware variantie  
 $V_x$  = testvariantie  
 $V_e$  = foutenvariantie

De betrouwbaarheid doet in het algemeen een uitspraak over de toets als meetinstrument. Naast betrouwbaarheid van toetsen wordt ook het begrip validiteit veel gebruikt. Een toets wordt valide genoemd wanneer datgene gemeten wordt wat de afnemer of samensteller bedoeld heeft te meten. Men kan onderscheiden: begripsvaliditeit, inhoudsvaliditeit enz., afhankelijk van de functie van de toets. Voor de konstruktie van toetsen is met betrekking tot de validiteit een aantal richtlijnen opgesteld [72]. Zo zijn ook voor de konstruktie van praktikumtoetsen specifieke richtlijnen op te stellen. Ik kom daar later op terug.

### Eenvoudige toets- en itemanalyse

Men kan toetsen analyseren met behulp van een taxonomie [7] of met een leerstoflijst. Er kan nagegaan worden hoeveel en welke vaardigheden of onderwerpen in de toets aan de orde komen. De beoordeling van toetsen op deze wijze is in het algemeen nogal subjektief (zie hoofdstuk 3) en gebaseerd op inhoudsdeskundigheid van de beoordelaar. Men kan ook toetsen analyseren door de skores van leerlingen op de onderdelen (items) en op de toets als geheel te bekijken. Het CITO heeft hiermee in de loop van de jaren veel ervaring opgedaan met name wat betreft de analyse van meerkeuzevragen [16]. De gemiddelde skore of p-waarde van een grote groep leerlingen op een bepaald item geeft informatie over de moeilijkheidsgraad. Bij een open vraag is het in verband daarmee ook verstandig naar de frequentieverdeling van de skore te kijken. Men kan ook de standaarddeviatie bepalen. Daarmee zijn uitspraken te doen over de spreiding in de toets-skores van de leerlingen. Een grote spreiding in de skores betekent dat de vraag sterk diskrimineert of differentiëert. Bij het CITO wordt van een item ook altijd de  $r_{it}$ -waarde bepaald. De  $r_{it}$  (item-totaal-korrelatie) is de korrelatie tussen de itemskore en de totaalskore op de toets. De  $r_{it}$ -waarde geeft aan hoe het onderdeel in de toets als geheel past en geeft tevens aanwijzingen of het item op de juiste wijze en naar verwachting diskrimineert. Met betrekking tot de ontwikkelde praktikumtoetsen is het ook zinvol de korrelatiekoefficienten te bepalen tussen de skores op onderdelen van toetsen als geheel enerzijds en de schoolonderzoekcijfers of centraal schriftelijk examencijfers anderzijds. Men krijgt zo een indruk in hoeverre goede leerlingen voor natuurkunde zoals dat bepaald is door hun schoolonderzoekcijfers of door hun cijfers voor het schriftelijk examen ook goed skoren op de onderdelen of op de toetsen als geheel.

Voorzichtigheid met het snel trekken van konklusies op grond van één

enkele analyse-grootheid is geboden. Mede omdat bij een praktische toets andere vaardigheden aan bod komen dan bij schriftelijke toetsen kan men een kleine korrelatiekoefficiënt verwachten tussen onderdelen en SO- of CSE-cijfers.

### **De konstruktie van praktikumtoetsen**

Binnen het samenwerkingsverband is gekozen voor de ontwikkeling van onderwerpachtige praktikumtoetsen met open vragen. Voor dit type toetsen is van de kant van natuurkundeleraren de meeste belangstelling zoals ook blijkt uit een enquête gehouden door het CITO [67].

Er is naar gestreefd, de praktikumtoetsen zo te konstrueren dat

1. zoveel mogelijk praktikumdoelstellingen in de toetsen aan bod komen.
2. zowel motorische- als kognitieve vaardigheden voldoende aan bod komen.
3. de onderwerpen van meerdere toetsen (toetsvragen) gespreid zijn over de examenstof.
4. getrapt gevraagd wordt, waarbij zoveel mogelijk afhankelijkheid van de onderdelen vermeden wordt.
5. het te gebruiken praktikummateriaal gemakkelijker en betaalbaar door de scholen aan te schaffen is in aantallen variërend van vier- tot tienvoud.
6. realisatie ook op scholen met een groot aantal eindexamenkandidaten organisatorisch mogelijk is terwijl toch door de leerlingen individueel geëxperimenteerd wordt.
7. de noodzakelijkheid van observatie met beoordeling duidelijk aangegeven is. Er is geëxperimenteerd met beoordeling tijdens het afnemen van praktische toetsen en met beoordeling achteraf.
8. het onderwerp van de toets voor de leerlingen een aantal nieuwe elementen bevat.
9. de beoordeling zo objektief mogelijk kan plaatsvinden.

Bij de konstrukties van de praktikumtoetsen is vanaf 1980/81 gebruik gemaakt van de in hoofdstuk 3 besproken CITO-doelstellingenlijst. Ideeën voor praktikumtoetsen werden o.a. uit de beschikbare literatuur verzameld. Geschikt lijkende experimenten werden uitvoerig getest. Door mij werd in het algemeen een concepttekst voor de toets opgesteld. Uit de ontwikkelde concepttoetsen werd met de leraren een keuze gemaakt. De definitieve versie werd in overleg met de samenwerkende leraren opgesteld en vervolgens aan de scholen aangeboden compleet met tips voor organisatie en normering. Van de in de loop van de jaren ontwikkelde proeven zijn een aantal stageverslagen beschikbaar.

## Hoofdstuk 6

### DE GEBRUIKTE STATISTISCHE METHODEN

*Omdat het ons te doen is om eenvoudige rechtstreekse natuurwaarneming, laten we stelselmatig weg:*

- 1. alles wat alleen met instrumenten te voorschijn komt;*
- 2. alles wat uit lange statistische reeksen waarnemingen wordt afgeleid;*
- 3. theoretische bespiegelingen voor zover ze niet rechtstreeks aansluiten bij wat onze ogen zien.*

*Marcel Gilles Jozef Minnaert*

Hoewel de gebruikte statistische methoden uitvoerig en fundamenteel terug te vinden zijn in beschikbare literatuur wil ik toch in dit hoofdstuk een overzicht geven van de statistische begrippen en bewerkingen die in het kader van het onderzoek aan de orde zijn geweest. Het is mijn bedoeling dit zo begrijpelijk en volledig mogelijk te doen voor diegenen die niet vertrouwd zijn met de statistische verwerking van gegevens.

Statistiek is een hulpwetenschap die zijn toepassing vindt bij het verzamelen, bewerken en interpreteren van waarnemingen op vele gebieden. Eén van de gebieden is het onderwijs waar een grote verscheidenheid van statistische methoden zeer bruikbaar is, in het bijzonder met betrekking tot het analyseren van studietoetsen [53, 52].

#### **Gebruik van statistiek bij het onderzoek**

Bij het onderzoek hebben we te maken met leerlingen uit de hoogste klas van het havo of vwo, eindexamenkandidaten die cijfers krijgen voor het centraal schriftelijk werk, het schoolonderzoek, schoolonderzoektoetsen en onderdelen van toetsen.

De verschillende cijfers of scores van de leerlingen zijn te beschouwen als stochastische variabelen. Met eenvoudige statistische bewerkingen met één of twee variabelen zijn uitspraken te doen over de kwaliteit van de toetsen of onderdelen van toetsen zoals de moeilijkheidsgraad, de betrouwbaarheid, de manier waarop de toets of het onderdeel diskrimineert (hoofdstuk 5). Ook worden de eerste aanwijzingen gegeven voor de manier van samenhang tussen de verschillende variabelen. Men kan de samenhang tussen meerdere variabelen beter onderzoeken met behulp van de multivariate analyse waar-

van de eerder bedoelde statistische analysemethoden in feite bijzondere gevallen zijn. Van de Geer [50] definiëert de multivariate analyse als de kunst om de samenhang tussen meerdere variabelen op eenvoudige wijze te beschrijven met wiskundige bewerkingen. Alleen zijn de wiskundige bewerkingen in het algemeen niet zo eenvoudig. Gelukkig voorziet de computer in dit probleem doordat voldoende programma's aanwezig zijn om snel de 'eenvoudige beschrijvingen' van een grote hoeveelheid waarnemingsmateriaal weer te geven. Ik kom daar uitvoeriger op terug.

Na de uitgevoerde statistische bewerkingen kunnen er naast uitspraken over de toetsen wellicht ook uitspraken gedaan worden over de populatie havo- en de populatie vwo-leerlingen uitgaande van de groepen onderzochte leerlingen. De groepen onderzochte leerlingen zijn steeds afkomstig van meer dan één school uit het samenwerkingsverband. Zoals uit de gehouden enquête (hoofdstuk 5) blijkt zijn er geen redenen om aan te nemen dat de geselecteerde scholen met betrekking tot het onderwijs in de natuurkunde speciaal met betrekking tot praktikum in de bovenbouw en praktisch schoolonderzoek een bijzondere positie in Nederland innemen. Wel zijn de scholen in verband met een intensieve samenwerking allen afkomstig uit Eindhoven en omgeving. De leerlingen zijn afkomstig uit een grote stad (Eindhoven), uit kleinere steden (Helmond, Veghel) en uit kleine dorpen in de omgeving van de genoemde steden. De in het samenwerkingsverband betrokken docenten verschillen zowel in lesstijl als in jaren leservaring. Om organisatorische redenen was jaarlijks slechts een gedeelte van de scholen bij de experimenten betrokken. Toch is het op grond van jaarlijkse herhaling van metingen een aantal jaren achtereenvolgend met steeds nieuwe groepen leerlingen mogelijk om generaliserende uitspraken te doen ondanks de vaak kleine steekproeven.

### **Dataverwerking met SPSS**

SPSS staat voor 'Statistical Package for the Social Sciences' [101]. Het pakket met statistische programmatuur richt zich vooral op de verwerking van gegevens (data) uit de sociale wetenschappen. De beschikbaarheid van SPSS is groot omdat SPSS op veel computermerken operationeel is en geen uitgebreide kennis van programmatuur eist van de gebruiker. SPSS is gebruikt in combinatie met het B7700 computersysteem. Aan het pakket SPSS-instructies dient dan besturingsinformatie voor dit computersysteem toegevoegd te worden. Deze informatie is in de taal WFL (Work Flow Language) geschreven.

De informatieverwerking met het systeem verliep via ponskaarten (cards) en gedrukte output. De ponskaarten kunnen we indelen in:

— data cards

De data cards bevatten de te verwerken informatie (persoonsgegevens,

skores op toetsonderdelen en schoolonderzoek- en CSE-cijfers voor natuurkunde en enkele andere vakken).

– control cards

Deze sturen de dataverwerking. Ze worden ingedeeld naar de functie die ze hebben in het systeem.

Met statistische procedures uit SPSS kan het volgende worden berekend:

– eendimensionale frekwentietabellen waarin absolute frekwentie, relatieve frekwentie, kumulatieve frekwentie met gemiddelde, mediaan en standaarddeviatie en in sommige gevallen de frekwenties uitgezet in een histogram.

– korrelatiecoëfficiënten met overschrijdingskans.

– tweedimensionale frekwentietabellen en kruistabellen met in elke cel absolute frekwentie, relatieve rij, kolom en totale frekwentie. Verder een aantal associatiematen.

– kanonieke korrelatiecoëfficiënten met Wilks' lambda, chi-kwadraat en overschrijdingskans. SPSS geeft bij de eerste kanonieke korrelatiecoëfficiënt (grootste) altijd de weegfactoren (coëfficiënten) van de variabelen. Van de tweede en volgende kanonieke korrelatie alleen als de gevonden overschrijdingskans kleiner is dan 0,05.

– hoofdkomponentenanalyse (principal factor analysis without iterations) met achtereenvolgens de eigenwaarden en de relatieve verklaarde varianties. Verder wordt de faktormatrix gegeven met die factoren, waarvan de bijbehorende eigenwaarde groter dan 1 is.

Daarna worden de 'communalities' voor de variabelen berekend. Na vari-max- of quartimax-rotatie wordt de nieuwe faktormatrix gegeven en ook de transformatiematrix.

Er zijn ook scheve rotaties toegepast. In dat geval worden na keuze van scheefheid ( $\delta$ ) de faktorpatroonmatrix, de faktorstructuurmatrix en de matrix van korrelaties tussen de scheve factoren gegeven.

## Eenvoudige statistische begrippen en bewerkingen

Een eerste bewerking is het vaststellen van de frekwenties. De frekwenties vormen tezamen de frekwentieverdeling die al door eenvoudig turven bepaald kan worden en grafisch kan worden weergegeven door middel van een histogram. Normeren van de frekwentieverdeling levert de relatieve frekwentie. De kumulatieve frekwentie van een bepaalde skore is het aantal kandidaten uit een steekproef dat die skore of minder gehaald heeft. Als de steekproef te veel numeriek verschillende steekproefwaarden oplevert, dan kan men de steekproef groeperen, dat wil zeggen de metingen in klassen indelen. Zo worden vaak cijfers in het klasseinterval van 7,5 tot 8,5 ingedeeld in één klasse, n.l. de klasse van het cijfer 8.

Het (rekenkundig) gemiddelde van een steekproef ter grootte  $n$  met als steekproefwaarden  $x_1, x_2, \dots, x_n$  is

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Naast gemiddelde wordt ook vaak gewerkt met mediaan en modus. De range of variatiebreedte is het verschil tussen de hoogste en laagste voorkomende steekproefwaarde. Een andere spreidingsmaat is de standaarddeviatie of standaardafwijking  $s$ .

$$s_x = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Het kwadraat van de standaardafwijking noemt men de variantie, dus

$$\text{var } x = s_x^2$$

De steekproefwaarden  $x_1, x_2, \dots, x_n$  kunnen we standaardiseren door de getransformeerde waarden  $y_1, y_2, \dots, y_n$  te introduceren zodanig dat

$$y_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s_x}$$

Deze nieuwe steekproefwaarden, ook wel standaardcores genoemd hebben een gemiddelde 0 en een standaarddeviatie 1.

### Korrelatie, regressie en kruistabellen

Om na te gaan in hoeverre twee series steekproefwaarden uitgevoerd bij dezelfde steekproef met elkaar samenhangen kan men een tweedimensionale frekwentietabel opstellen. Als voorbeeld kunnen we de cijfers afgerond tot gehele getallen op twee toetsen bekijken. Volledig ingevuld ontstaat dan een 10 bij 10 frekwentietabel waarin overzichtelijk 100 frekwenties weergegeven zijn. In plaats van cijfers kunnen ook eigenschappen uitgezet worden bijvoorbeeld voldoende of onvoldoende cijfer voor een bepaalde toets tegen het geslacht. In dat geval spreken we van een kruistabel. Kruistabellen zijn geschikt om te zien of er een relatie tussen de verschillende eigenschappen bestaat. Voorzichtigheid met het trekken van konklusies is echter geboden. Een verband kan bijvoorbeeld het gevolg zijn van een derde variabele waarmee beide variabelen een relatie hebben. Om een indicatie te krijgen over het verband tussen de variabelen kan men gebruik maken van zogenaamde associatiematen [119]. Een andere mogelijkheid dan de eerder beschreven frekwentietabel om inzicht te krijgen in het verband tussen twee numerieke variabelen is het maken van een spreidings- of scatterdiagram. De vorm van de puntenwolk kan sterk vertekend worden wanneer te veel punten in het spreidingsdiagram samenvallen. De mate waarin een lineair verband bestaat tussen de twee variabelen kan ook uitgedrukt worden in



een getal: de (lineaire) korrelatiecoëfficiënt. Hiervoor geldt:

$$r_{xy} = \frac{s_{xy}}{s_x s_y} = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{s_x s_y}$$

In de teller staat de kovariantie van de variabelen  $x$  en  $y$ , ook te schrijven als  $\text{kov}(x,y)$ .

Wanneer de variabelen gestandaardiseerd zijn geldt:

$$r_{xy} = \text{kov}(x,y)$$

De korrelatiecoëfficiënt kan waarden aannemen tussen  $+1$  en  $-1$ .

Door de puntenwolk in het spreidingsdiagram kunnen twee regressielijnen getrokken worden. De eerste regressielijn wordt bepaald volgens de methode van de kleinste kwadraten in de  $y$ -richting. Verondersteld wordt dat  $y$  afhankelijk is van de onafhankelijk variabele  $x$  volgens  $y = ax + b$ . Deze lijn moet zo door de puntenwolk getrokken worden dat de som van de kwadraten van de afstanden van de punten tot de lijn minimaal is. De afstanden worden daarbij in de  $y$ -richting gemeten. Enig rekenwerk levert:

$$a = \frac{s_{xy}}{s_x^2} \quad \text{en} \quad b = \bar{y} - a\bar{x}$$

De tweede regressielijn wordt bepaald volgens de methode van de kleinste kwadraten in de  $x$ -richting. Voor de lijn  $x = a'y + b'$  geldt:

$$a' = \frac{s_{xy}}{s_y^2} \quad \text{en} \quad b' = \bar{x} - a'\bar{y}$$

Kombineren van de twee richtingscoëfficiënten van de regressielijnen levert de korrelatiecoëfficiënt

$$aa' = r_{xy}^2$$

De korrelatiecoëfficiënt is een maat voor de hoek tussen de twee regressielijnen: bij  $r_{xy} = \pm 1$  vallen de twee regressielijnen samen, en bij  $r_{xy} = 0$  staan ze loodrecht op elkaar.

Met behulp van het computerprogramma SPSS wordt een 'significance-test' uitgevoerd. Getoetst wordt de nulhypothese  $\rho_{xy} = 0$  ( $\rho_{xy}$  is de korrelatiecoëfficiënt in de populatie waarvan  $r_{xy}$  een schatting is) tegen het alternatief  $\rho_{xy} \neq 0$  met een onbetrouwbaarheid 0,05. Als toelatingsgrootheid gebruikt SPSS

$$t = \frac{r_{xy} \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{xy}^2}}$$

die onder de nulhypothese  $\rho_{xy} = 0$  de Studentverdeling volgt met het aantal vrijheidsgraden  $v = n - 2$  [69, 47]. Als de nulhypothese wordt verworpen duidt dit op een lineaire afhankelijkheid tussen de variabelen  $x$  en  $y$ .

## Multivariate analyse

Met behulp van methoden uit de multivariate analyse moet het mogelijk zijn om uit de grote hoeveelheid scores op toetsen en onderdelen van toetsen uitspraken te doen over de doelstellingen van het natuurkundeonderwijs. In hoofdstuk 3 is al aangegeven dat toetsen geanalyseerd kunnen worden met behulp van een taxonomie. In het algemeen zijn dergelijke analyses subjectief. De beoordeling welke vaardigheden bij leerlingen getoetst worden wordt bovendien vaak bepaald door de ontwerper van de toets.

Een eerste poging om op statistische wijze na te gaan of de verschillende doelstellingen in een toets te onderscheiden zijn kan plaatsvinden door de korrelaties tussen scores te berekenen. Aan de hand van eenvoudige statistische bewerkingen kunnen wel uitspraken gedaan worden over de moeilijkheidsgraad, de betrouwbaarheid, de homogeniteit en het diskriminerend karakter van een toets zoals eerder is opgemerkt. Maar de korrelaties tussen scores op toetsen onderling en onderdelen van toetsen onderling leveren ten hoogste een zeer geringe indicatie met betrekking tot de getoetste vaardigheden.

Binnen de multivariate analyse zijn twee procedures om het probleem, het vinden van onderscheid tussen doelstellingen in toetsen, aan te pakken.

### 1. Analyse met kanonieke korrelatie.

Toetsen en onderdelen van toetsen worden in groepen ingedeeld. In elke groep bevinden zich de toetsen of onderdelen van toetsen waarin volgens deskundige beoordeling (subjectief) dezelfde vaardigheid getoetst wordt. We verwachten nu tussen twee groepen waarin dezelfde vaardigheden getoetst worden een significant (positieve) kanonieke korrelatie en tussen twee groepen waarin verschillende vaardigheden getoetst worden geen of een om andere redenen significant (positieve) korrelatie.

### 2. Faktor analyse.

Een grote groep variabelen (scores op toetsen en onderdelen van toetsen) waarin naar verwachting een aantal doelstellingen voorkomen wordt geanalyseerd met een vorm van faktor analyse. Nagegaan wordt of de factoren te benoemen zijn in termen van vaardigheden.

Door beide multivariate analysemethoden in de genoemde volgorde toe te passen kan bovendien nagegaan worden in hoeverre de vooraf intuïtief bepaalde vaardigheden en de achteraf statistisch gevonden vaardigheden samenhangen.

Voor een wiskundige behandeling van de multivariate analysemethoden zijn de theorieën van de lineaire vektorruimten en de matrixrekening van

groot belang. Voor een uitvoeriger beschrijving verwijs ik naar de beschikbare literatuur [50, 96, 121, 29, 4]. In dit hoofdstuk zal ik enkele algemene aspecten en de twee gebruikte analysemethoden kort bespreken voor de lezer die enigszins bekend is met de lineaire algebra.

We gaan ervan uit dat de te bewerken gegevens verzameld zijn in een  $n \times m$  matrix. De matrix bevat dus de scores van  $n$  leerlingen op  $m$  toetsen of onderdelen van toetsen. Om te beginnen worden de scores in genoemde matrix gecorrigeerd door van elke score de gemiddelde score van de toets af te trekken. De verkregen matrix  $X_{nm}$  voorvermenigvuldigen met zijn getransponeerde  $X'_{mn}$  levert de  $m \times m$  matrix van inproducten. Delen we deze matrix door  $n$  dan ontstaat de variantie-kovariantie matrix met in de diagonaal de varianties op de toetsen en daarbuiten de kovarianties tussen de verschillende toetsen onderling. Door de variabelen, de scores, tevoren in standaardvorm te brengen wordt op analoge wijze de zogenaamde korrelatiematrix verkregen: op de diagonaal enen en daarbuiten de korrelatiekoefficiënten.

### Kanonieke korrelatie

De methode van kanonieke korrelatie analyse is ontwikkeld door Hotelling [64]. Bij kanonieke korrelatierekening wordt de relatie onderzocht tussen twee groepen variabelen. Er wordt gezocht naar een lineaire combinatie van de variabelen uit de ene groep en een lineaire combinatie van de variabelen uit de andere groep variabelen zodanig dat een maximale korrelatie tussen de twee lineaire combinaties bestaat. Vervolgens worden paren combinaties zo bepaald dat de korrelatie tussen het bijbehorende paar kanonieke variabelen gemaximaliseerd wordt onder voorwaarde dat de korrelatie met de eerder verkregen lineaire combinaties nul is.

We gaan uit van de eerder genoemde  $n \times m$  matrix. We onderzoeken het verband tussen  $p$  en  $q$  variabelen met  $p + q = m$ . De bijbehorende korrelatiematrix heeft de gedaante

$$R_{mm} = \begin{bmatrix} R_{11} & \vdots & R_{12} \\ \vdots & \text{---} & \vdots \\ R_{21} & \vdots & R_{22} \end{bmatrix}$$

- met  $R_{11}$  de korrelatiematrix van de eerste  $p$  variabelen
- $R_{22}$  de korrelatiematrix van de laatste  $q$  variabelen
- $R_{12}$  matrix van korrelatiekoefficiënten tussen de twee groepen variabelen onderling
- $R_{21}$  de getransponeerde van  $R_{12}$ .

We zoeken de koefficiënten  $a_1, \dots, a_p$  en  $b_1, \dots, b_q$  zo, dat de korrelatie tussen de functies  $X_{np}a$  en  $X_{nq}b$  maximaal is onder de voorwaarde dat  $a'R_{11}a = 1$  en  $b'R_{22}b = 1$ . ( $[X_{np} \mid X_{nq}] = X_{nm}$ ).

Om de korrelatie te berekenen tussen de functies  $X_{np}$  a en  $X_{nq}$  b wordt de matrix  $X_{nm}$  in standaardvorm gebracht.  
De korrelatie wordt dan

$$a'R_{12}b = b'R_{21}a$$

Met behulp van Lagrange vermenigvuldigers wordt het maximum van de korrelatie bepaald als functie van a en b. We kiezen de vermenigvuldigers

$\frac{\lambda}{2}$  en  $\frac{\mu}{2}$ . De afgeleide naar a' en naar b' van de functie:

$$a'R_{12}b - \frac{1}{2}\lambda (a'R_{11}a - 1) - \frac{1}{2} (b'R_{22}b - 1)$$

wordt nul gesteld dus:

$$R_{12}b - \lambda R_{11}a = 0$$

(I)

$$R_{21}a - \mu R_{22}b = 0$$

Dit zijn respectievelijk p en q homogene vergelijkingen met m onbekenden terwijl ook  $\mu$  en  $\lambda$  nog niet bekend zijn. Door vergelijkingen I met a' en b' te vermenigvuldigen vinden we direkt  $\lambda = \mu = a'R_{12}b$ . Dit is de kanonische korrelatie.

Uit de twee vergelijkingen I kan a geëlimineerd worden. Beginnen we met de eerste vergelijking dan wordt

$$a = \frac{1}{\lambda} R_{11}^{-1} R_{12}b$$

Dit invullen levert:

$$(R_{22}^{-1} R_{21} R_{11}^{-1} R_{12} - \lambda^2 I) b = 0$$

(II)

We hebben nu een karakteristieke vergelijking ( $p^e$ -graads in  $\lambda^2$ ) met eigenwaarden  $\lambda^2$  en eigenvektoren b. De grootste eigenwaarde levert de maximale kanonieke korrelatie (kanonieke korrelatiecoëfficiënt  $\lambda$ ). De coëfficiënten van de bijbehorende vektoren b en a zijn de coëfficiënten van de lineaire functies van de twee groepen variabelen zodanig gekozen dat de korrelatie tussen de twee functies maximaal is. De op één na grootste eigenwaarde van vergelijking II levert de tweede kanonieke korrelatiecoëfficiënt enz. In totaal zijn er r eigenwaarden  $\lambda_i^2$  waarbij  $r \leq \min(p, q)$ . Met betrekking tot de kanonieke korrelatiecoëfficiënt wordt met SPSS de nulhypothese getoetst dat de  $k^e$  en volgende eigenwaarden (korrelatiecoëfficiënten) gelijk zijn aan nul. Dit gebeurt met behulp van Wilks'  $\Lambda$  [121]. De waarde van Wilks'  $\Lambda$  behorend bij de  $k^e$  kanonieke korrelatiecoëfficiënt wordt berekend volgens

$$\Lambda = \prod_{i=k}^r (1 - \lambda_i^2).$$

Aangezien  $\lambda_i^2$  gelijk is aan het kwadraat van de  $i^e$  kanonieke korrelatiecoëfficiënt tussen de kanonieke variabelen uit twee groepen, stelt de faktor  $(1 - \lambda_i^2)$  een 'vreemdheids'coëfficiënt voor. Hoe kleiner de waarde van  $\Lambda$ , hoe sterker de relatie tussen de paren kanonieke variabelen. Nadat de  $\Lambda$ 's berekend zijn behorend bij de eigenwaarden te beginnen met de eerste wordt met betrekking tot de  $k^e$  eigenwaarde de nulhypothese getoetst dat er geen relatie is tussen de  $p-k+1$  en  $q-k+1$  variabelen. Bartlett [121] maakte voor dit doel een functie van  $\Lambda$  die bij benadering een  $\chi^2$  verdeling heeft (Bartlett's V).

$$\chi^2 \approx V = - \left[ N - \frac{3}{2} - \frac{1}{2} (p + q) \right] \ln \Lambda$$

met  $(p-k+1)(q-k+1)$  vrijheidsgraden.

Hiermee wordt de nulhypothese getoetst. Bij van tevoren vastgestelde betrouwbaarheidsdrempel  $\alpha$  van 0,05 betekent dit, dat de nulhypothese verworpen wordt als de overschrijdingskans van de berekende waarde kleiner is dan 0,05. De alternatieve hypothese dat er wel sprake is van een relatie tussen de  $p-k+1$  en  $q-k+1$  variabelen wordt dan aanvaard. Wanneer voor de  $k^e$  eigenwaarde de nulhypothese niet verworpen wordt dan is ook de  $(k+1)^e$  kanonieke korrelatie niet significant.

## Faktoranalyse

Faktoranalyse wordt nogal eens gebruikt als verzamelnaam voor een aantal statistische technieken waarbij een komplette matrix van waarnemingsuitkomsten wordt gekomprimeerd tot een kleinere matrix met waarden van hypothetische variabelen zonder dat relevante informatie verloren gaat. De hypothetische variabelen worden de factoren genoemd. Een overzicht van een aantal faktoranalytische technieken wordt gegeven door Harman [55]. De oorspronkelijke toepassingen lagen voornamelijk op het gebied van de psychologie (Spearman, Thurstone). Heden ten dage is het toepassingsgebied zeer breed. Faktoranalytische technieken worden ook vaak toegepast in het onderwijs b.v. op examenresultaten [39].

Het doel van de klassieke faktoranalyse is het vinden van de beste weergave van de geobserveerde korrelaties. Ieder van de  $m$  variabelen  $X_i$  wordt geschreven als een lineaire combinatie van  $p < m$  'common factors' en een 'unique factor'.

$$X_i = a_{i1} Y_1 + \dots + a_{ip} Y_p + d_i U_i$$

De variabelen staan in standaardvorm dus  $\text{var } X_i = 1$ . In de uitdrukking

$\text{var } X_i = h_i^2 + d_i^2$  is  $h_i^2 = \sum_{j=1}^p a_{ij}^2$  de 'communality' en  $d_i^2$  de 'uniqueness' van de variabele  $X_i$ . In de faktoranalyse worden kovarianties bepaald door  $p$  variabelen.

Het doel van de komponentenanalyse, ontwikkeld door Hotelling [63] is het bereiken van een maximale variantie. Ieder van de  $m$  variabelen  $X_i$  wordt geschreven als een lineaire combinatie van onderling niet gekorreleerde komponenten  $Y_1, \dots, Y_m$  zodanig dat elke komponent op zijn beurt een maximale bijdrage levert aan de totale variantie van de  $m$  variabelen. Er wordt bij komponentenanalyse geprobeerd met zo weinig mogelijk lineaire combinaties ( $k < m$ ) zoveel mogelijk variantie te verklaren.

Bij het onderzoek wordt gebruik gemaakt van het SPSS-komputerprogramma voor 'principal factor analysis'. Dit is in wezen komponentenanalyse met gebruik van de terminologie van faktoranalyse. Met betrekking tot de naamgeving is er nogal wat verwarring. Zo worden de uitdrukkingen 'principal factor' en 'principal component' soms beide gebruikt voor dezelfde procedure. Harman [55] spreekt bij 'communalities' in de diagonalen van de korrelatiematrix van 'principal factor' en bij enen in de diagonalen van 'principal component'. In de nu volgende paragraaf zal ik de bij het onderzoek gebruikte (hoofd)komponentenanalyse bespreken.

### Hoofdkomponentenanalyse

We gaan uit van de matrix met waarnemingen  $X = X_{nm}$  in standaardvorm met bijbehorende korrelatiematrix  $R = R_{mm}$ . We gaan de eerste hoofdkomponent  $Y_1$  zoeken.  $Y_1$  is dan te schrijven als een lineaire combinatie van de variabelen  $X_i$  zodanig dat  $\text{var } Y_1$  maximaal is:

$$Y_1 = a_{11} X_1 + \dots + a_{m1} X_m = X a_1$$

Hieruit volgt:

$$\text{var } Y_1 = a_1' R a_1.$$

Om de maximale variantie te bepalen onder voorwaarde dat de  $a_1$  vektor genormeerd is ( $a_1' a_1 = 1$ ) kiezen we de Lagrange vermenigvuldiger  $\lambda_1$  en differentiëren vervolgens:

$$\frac{\partial}{\partial a_1} [\text{var } Y_1 + \lambda_1 (1 - a_1' a_1)]$$

Deze afgeleide moet nul zijn dus:

$$(R - \lambda_1 I)a_1 = 0.$$

Uit deze vergelijking volgt direkt dat:

$$\lambda_1 = a_1' R a_1 = \text{var } Y_1$$

Omdat we de maximale variantie zoeken moet  $\lambda_1$  de grootste eigenwaarde zijn van de karakteristieke vergelijking  $|R - \lambda_1 I| = 0$ . De koëfficiënten van de bijbehorende eigenvektor  $a_1$  leveren de bijdragen (ladingen) van de variabelen  $X_i$  aan de eerste hoofdkomponent  $Y_1$ .

Vervolgens zoeken we de tweede hoofdkomponent:

$$Y_2 = X a_2$$

zodanig dat  $\text{var } Y_2$  maximaal is onder voorwaarde dat  $a_2' a_2 = 1$  én  $a_1' a_2 = 0$ . De laatste (orthogonaliteits)voorwaarde impliceert dat we voor de bepaling van de tweede hoofdkomponent de eerste uitgeschakeld hebben. Gemakkelijk is nu af te leiden [96] dat voor  $a_2$  moet gelden:

$$(R - \lambda_2 I)a_2 = 0$$

Dus de variantie bepaald door de tweede hoofdkomponent is gelijk aan de tweede eigenwaarde in grootte van de korrelatiematrix  $R$  en de bijbehorende eigenvektor  $a_2$  levert de ladingen.

Door alle eigenwaarden van de korrelatiematrix  $R$  in volgorde van grootte te bepalen vinden we de hoofdkomponenten  $Y_1, \dots, Y_m$  in volgorde van belangrijkheid.

Voor de totale variantie van alle variabelen uit matrix  $X$  geldt:

$$\text{var } X = \text{sp } R = m$$

De diagonaal van de korrelatiematrix  $R$  bevat uitsluitend enen.

Er is bij de transformatie van  $X$  naar  $Y$  geen informatie verloren gegaan dus ook:

$$\text{var } Y = m$$

De  $i^e$  hoofdkomponent verklaart dus het  $(\frac{\lambda_i}{m})^e$  deel van de totale variantie.

Het is zaak een aantal componenten ( $p < m$ ) vast te stellen zodanig dat door deze componenten zoveel mogelijk variantie wordt verklaard. SPSS kiest standaard voor  $p$  het aantal eigenwaarden groter dan één. Anderson [5] heeft een test ontwikkeld om na te gaan of de  $m-p$  kleinste eigenwaar-

den aan elkaar gelijk zijn. De door hem gebruikte toetsingsgrootheid is bij benadering  $\chi^2$  verdeeld. Als men de hypothese dat de  $m-p+1$  kleinste eigenwaarden aan elkaar gelijk zijn verwerpt, maar de hypothese dat  $m-p$  kleinste eigenwaarden aan elkaar gelijk zijn niet verwerpt, dan lijkt het zinvol over  $p$  componenten te spreken.

In de matrix van faktorladingen  $A_{mp}$  zijn  $p$  faktorladingen op  $m$  variabelen weergegeven. De 'communality' van de  $i^e$  variabele is te berekenen volgens  $h_i^2 = \sum_{j=1}^p a_{ij}^2$ . Dit is de variantie van de  $i^e$  variabele die door de geselecteerde factoren verklaard wordt. Om meer duidelijkheid te brengen in de verdeling van faktorladingen kan men een orthogonale rotatie van het assenstelsel in de faktoruimte toepassen. Er worden twee rotatieprocedures toegepast [55].

### 1. *Quartimax*

Het doel van deze methode is de ladingen voor elke variabele zo te veranderen dat de variabele op een klein aantal factoren zo groot mogelijke ladingen heeft. We zoeken daarom een orthogonale transformatie  $T$  die de oorspronkelijke faktormatrix  $A$  omzet in een nieuwe faktormatrix  $B$  zodanig dat de variantie van het kwadraat van de faktorladingen van  $p$  factoren op  $m$  rijen maximaal is. Deze variantie is:

$$\frac{1}{mp} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^p b_{ij}^4 - (\bar{b}^2)^2$$

$\bar{b}^2$  blijft konstant na orthogonale transformatie en konstante termen hebben geen invloed op het maximaliseringsproces, dus

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^p b_{ij}^4 \text{ moet maximaal zijn.}$$

Deze uitspraak is identiek met

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j < k=1}^p b_{ij}^2 b_{ik}^2 \text{ moet minimaal zijn}$$

omdat de 'communality' van elke variabele bij de orthogonale transformatie  $T$  invariant moet zijn dus ook

$$\sum_{i=1}^m \left( \sum_{j=1}^p b_{ij}^2 \right)^2 = \sum_{i=1}^m \left( \sum_{j=1}^p b_{ij}^4 + 2 \sum_{j < k=1}^p b_{ij}^2 b_{ik}^2 \right)$$

Omdat de methode vereenvoudiging bewerkstelligt in de rijen van de faktormatrix, zal de eerste faktor in het gerooteerde systeem vaak een algemene faktor zijn waar de meeste variabelen hoog op skoren.



## 2. Varimax

Het doel van de varimaxmethode is de ladingen voor elke faktor zo te veranderen dat de faktor op een klein aantal variabelen zo groot mogelijke ladingen heeft. We zoeken nu een orthogonale transformatie T die faktormatrix A omzet in B zodanig dat de variantie van het kwadraat van de faktorladingen op de factoren maximaal is. De variantie op faktor j is

$$\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (b_{ij}^2)^2 - \frac{1}{m^2} \left( \sum_{i=1}^m b_{ij}^2 \right)^2$$

De totale variantie is dan

$$\sum_{j=1}^p \left[ \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m b_{ij}^4 - \frac{1}{m^2} \left( \sum_{i=1}^m b_{ij}^2 \right)^2 \right]$$

Deze uitdrukking moet maximaal zijn.

Naast orthogonale rotaties zijn ook scheve rotaties mogelijk. Interpretatie van de faktorladingen moet dan gebeuren in samenhang met beschouwing van relaties tussen de factoren onderling. In SPSS moet men de scheefheid van tevoren vaststellen door het kiezen van een scheefheidsparameter  $\delta$  zo dat  $-\infty < \delta < 1$ , waarbij  $\delta$  zeer negatief wijst op een bijna orthogonale rotatie en  $\delta$  in de buurt van 1 op een zeer scheve rotatie. In het onderzoek is slechts kort gewerkt met scheve rotaties. De resultaten waren echter zodanig dat voortzetting niet zinvol was (hoofdstuk 7).

## Hoofdstuk 7

### EEN MANIER VAN PRAKTISCH TOETSEN: DE DEMONSTRATIETOETS

*Kijk, het water van het bad komt omhoog als je erin stapt ... je bent wel erg dik, papa ... waar jouw been zit kan geen water zitten.*

*Gijsbert Nicolaas Verkerk*

Gedurende de cursus 1978/79 zijn in samenwerking twee toetsen voor vwo en twee toetsen voor havo ontwikkeld. Elke toets nam drie uur in beslag. Een gedeelte van de toets was theoretisch en bestond uit drie à vier vraagstukken waarvoor twee uur beschikbaar was. Het andere gedeelte van de toets bestond uit het verwerken en oplossen van problemen aan de hand van een demonstratieproef. Door het demonstratie-experiment werden de leerlingen gekonfronteerd met een reëel fysisch probleem met daarbij de praktische realisatie. De gebruikte opstelling was steeds voor elke leerling duidelijk te zien.

Meetgegevens werden verkregen doordat de leerlingen vanaf hun plaats meetinstrumenten aflazen tijdens de uitvoering van de demonstratie. Steeds moesten zij zelf de nauwkeurigheid van de waarnemingen bepalen.

Voor een demonstratietoets is slechts één opstelling nodig. Bovendien is het niet noodzakelijk dat leerlingen praktikumervaring hebben. Een aantal experimenteervaardigheden (zie CITO-lijst) kunnen bij een demonstratieproef niet getoetst worden zoals manipuleren met apparatuur. Daarom moet deze vorm van praktisch toetsen zeker niet als de ideale vorm gezien worden.

#### De toetsen

Zowel voor vwo als voor havo werd één van de toetsen afgenomen in december 1978 en de ander in maart 1979 op van te voren vastgestelde dagen. De toetsen zijn geheel of gedeeltelijk gebruikt op vijf van de zeven scholen. Voor het vwo hebben slechts 88 leerlingen van drie scholen beide toetsen volledig gemaakt; voor het havo 53 leerlingen van twee scholen. De toetsen zijn te vinden in appendix I-1 t/m I-24.

#### 1. Decembertoets vwo (appendix I-1 t/m I-6).

De leerlingen moesten de volgende onderwerpen van de vwo-kernleerstof bestudeerd hebben: trillingen, golven, geluid, golfoptika, elektrische stromen, geometrische optika. Bovendien kon gevraagd worden over het keu-

zonderwerp 'zien en waarnemen'. Deze toets is volledig gemaakt door 158 eindexamenkandidaten van vier scholen. Het vijfde 'vraagstuk' met demonstratie handelde over een soort mathematische slinger.

2. Maarttoets vwo (appendix I-7 t/m I-13).

Van de vwo-kernleerstof moest bestudeerd zijn: elektrisch veld, magnetisch veld, inductie, atoomfysika, elektronika, kernfysika, bouw heelal. Deze toets is volledig gemaakt door 88 kandidaten [37]. Het praktische vraagstuk handelde over de bepaling van  $\epsilon_0$  (en  $\epsilon_r$ ) met behulp van een plaatcondensator en een speciaal ontwikkelde elektronische schakelaar [41, 61].

3. Decembertoets havo (appendix I-14 t/m I-20).

Uit de havo-eindexamenlijst moesten de leerlingen bestuderen: trillingen, golven, geluid, golfoptika, elektrische stromen, geometrische optika. Het demonstratievraagstuk ging over een massaschommel [54] waarin en waaraan een slinger bevestigd wordt.

4. Maarttoets havo (appendix I-21 t/m I-24).

De volgende onderwerpen van de havo-eindexamenleerstof zijn bestudeerd: elektrisch veld, magnetisch veld, inductie, atoomfysika, elektronika, kernfysika. Bij de demonstratieopgave kwamen twee helmholtzspoelen aan de orde waartussen een magneetnaald opgesteld was [38].

De score op een toets als geheel is voor iedere leerling bepaald door de scores van de leerling op de afzonderlijke opgaven op te tellen en vervolgens 10 punten toe te voegen. Het cijfer vindt men door de verkregen score door 10 te delen.

### Analyse decembertoets vwo

In tabel 6 is een overzicht gegeven van enkele eenvoudige statistische bewerkingen uitgevoerd met de scores van 88 vwo-leerlingen die zowel de decembertoets als de maarttoets volledig gemaakt hebben. De resultaten van de 158 vwo-leerlingen die de decembertoets volledig gemaakt hebben vertonen hetzelfde beeld als de resultaten in de tabel. Alleen bleken de gemiddelde scores op de meeste onderdelen 0,1 à 0,2 punt lager te liggen hetgeen erop wijst dat de afgefallen groep iets zwakker was dan de proefgroep. In de tabel is ook de normering gegeven (maximaal haalbare scores). Zowel het praktisch als het theoretisch gedeelte van de toets zien er evenwichtig kwa moeilijkheidsgraad uit. In de opgaven wordt de gemiddelde relatieve score op de onderdelen in het algemeen kleiner in de loop van een opgave evenals de gemiddelde relatieve score op de theorieopgaven in de loop van de toets. De opklimming in moeilijkheid is ook uit de frekwentieverdelingen gebleken. In het algemeen wordt ook de relatieve standaarddeviatie groter naarmate de onderdelen moeilijker worden. Het diskriminerend karakter neemt toe. Alleen bij te moeilijke onderdelen met lage p-waarden zoals D2d2 en D4e zien we de relatieve standaarddeviatie weer kleiner worden.

Tabel 6: statistische verwerking decembertoets vwo\*  
(N = 88)

Decembertoets	max. score	gem. score	stand. deviatie	korr. D-opgave	korr. D-toets	korr. SO	korr. CSE
D1a	4	3,455	0,921	0,53	0,10	-0,06	0,06
1b	4	3,159	1,163	0,71	0,36	0,25	0,09
1c	4	2,568	1,037	0,82	0,51	0,34	0,26
1d	3	1,455	1,277	0,78	0,55	0,45	0,38
D1	15	10,636	3,163	—	0,55	0,36	0,29
D2a	4	3,739	0,577	0,34	0,10	0,08	0,10
2b	4	3,500	1,213	0,69	0,34	0,26	0,15
2c	2	0,955	0,970	0,56	0,29	0,18	0,05
2d1	2	1,216	0,952	0,50	0,21	0,20	0,16
2d2	2	0,398	0,720	0,47	0,11	0,08	0,02
D2	14	9,807	2,392	—	0,43	0,33	0,19
D3a	3	2,386	0,823	0,53	0,56	0,37	0,36
3b	3	2,648	0,728	0,20	0,12	0,16	0,07
3c	5	3,148	1,797	0,80	0,46	0,24	0,27
3d	5	1,466	1,538	0,76	0,23	0,16	0,14
D3	16	9,648	3,188	—	0,54	0,35	0,33
D4a	2	1,455	0,883	0,57	0,33	0,24	0,10
4b	3	2,250	0,986	0,66	0,28	0,31	0,15
4c	3	1,409	1,310	0,68	0,34	0,44	0,12
4d	3	0,750	1,206	0,55	0,32	0,31	0,26
4e	4	0,511	0,788	0,55	0,18	0,15	0,21
D4	15	6,375	3,131	—	0,49	0,51	0,28
D5a	3	1,557	0,920	0,50	0,34	0,25	0,24
5b	3	1,080	1,408	0,51	0,44	0,31	0,41
5c	3	1,875	0,895	0,40	0,05	-0,15	0,16
5d	3	2,261	0,809	0,25	0,21	0,31	0,21
5e	3	1,830	1,350	0,50	0,36	0,28	0,35
5f1	2	1,705	0,697	0,48	0,35	0,28	0,08
5f2	2	1,580	0,813	0,50	0,43	0,28	0,13
5f3	2	0,807	0,725	0,52	0,35	0,19	0,31
5g	3	1,477	1,083	0,60	0,42	0,34	0,21
5 M (metingen)	6	4,659	1,461	0,55	0,33	0,14	0,14
D5	30	18,830	4,979	—	0,68	0,46	0,48
D-toets	100	65,295	9,429	—	—	0,74	0,60

\*De afkortingen in de kop van de tabel spreken meestal voor zich. In de overige gevallen: zie tekst.

Gezien de waarden van de korrelatiecoëfficiënt tussen de onderdelen en de bijbehorende opgaven zijn de vraagstukken meestal homogeen kwa opbouw. Dit geldt ook voor de decembertoets als geheel wanneer we de korrelatiecoëfficiënten bekijken tussen de onderdelen en opgaven enerzijds en de decembertoets anderzijds. Hoewel de korrelatiecoëfficiënten tussen de cijfers op de onderdelen en de SO- respectievelijk CSE-cijfers soms laag zijn lijken toch de opgaven en zeker de toets als geheel goed en naar verwachting te diskrimineren. De korrelatiecoëfficiënten met de SO-cijfers zijn in de meeste gevallen groter dan die met de CSE-cijfers. Dit ligt voor de hand omdat:

1. de skores op de onderdelen en opgaven uiteindelijk een bijdrage leveren tot het SO-cijfer.
2. de wijze van toetsing bij deze toets meer overeenkomt met de wijze van toetsing bij andere onderdelen van het schoolonderzoek dan met de wijze van toetsing bij het schriftelijk eindexamen.
3. de toetsen opgesteld zijn in samenwerking met de eigen leraren.

Het gemiddelde cijfer voor de decembertoets volgens onze correctie bedraagt 6,5. De leraren komen op een gemiddelde van 6,7. De standaarddeviatie op de skores van de toets als geheel wijst erop dat zeer hoge en zeer lage cijfers nauwelijks voorkomen. Opgave D4 blijkt het slechtst gemaakt te zijn door de leerlingen. Onderdelen a en b zijn kennisvragen die door de leerlingen wel goed gemaakt worden. Maar inzicht in een voor de leerlingen nieuwe situatie bij schuine inval ontbreekt vaak gezien de lage skores op onderdelen d en e. Alle overige opgaven zijn voldoende gemaakt, opgave D1 het best. Wat opgave D2 betreft ligt het berekenen met lenzenformules de leerlingen kennelijk beter dan het konstrueren met behulp van konstruktie-stralen. Konstrukties bij geometrische optika hebben in het algemeen minder nadruk dan vroeger terwijl ook de vlakke meetkunde en vooral stereometrie in het wiskunde onderwijs vrijwel verdwenen zijn. Bij opgave D3 vraagt het onderdeel c inzicht in de werking van het fototoestel en dit werkt bij d door. De afhankelijkheid van deze onderdelen wordt door het skoreverloop niet weerlegd.

De praktische opgave (D5) heeft naar verwachting de grootste korrelatiecoëfficiënt met de toets als geheel. Op onderdeel D5a is slechter geskoord dan verwacht werd. Veel leerlingen hebben voor de bepaling van de lengte van de slinger gemeten van de bovenkant van massa  $m$  tot draaipunt S. De onderdelen D5b en D5e blijken sterk te diskrimineren gezien de standaarddeviatie. Ook de korrelatiecoëfficiënten met de SO- en CSE-cijfers zijn voor onderdelen tamelijk hoog. De vragen van D5f testen gezien de skores in toenemende mate inzicht in de praktische situatie. Dit inzicht is daarna naast enkele konkrete meetpunten van belang bij onderdeel D5g. Bij de metingen (D5M) is meer fout gegaan dan verwacht werd. Zo waren er toch nog leerlingen die uit slechts één slinging de slingertijd bepaald hebben.

Samengevat: de decembertoets voor het vwo ziet er statistisch gezien evenwichtig uit met evenwichtige vragen. Bovendien zijn de vragen gespreid over de te bestuderen stof en worden vele aspecten van fysisch handelen getoetst.

## Analyse maarttoets vwo

Een overzicht van enkele eenvoudige statistische bewerkingen uitgevoerd met de scores van de 88 vwo-leerlingen is weergegeven in tabel 7. De opbouw van deze tabel is dezelfde als die van tabel 6.

Tabel 7: Statistische verwerking maarttoets vwo  
(N = 88)

Maarttoets	max. score	gem. score	stand. deviatie	korr. M-opgave	korr. M-toets	korr. SO	korr. CSE
M1a	4	3,182	1,218	0,44	0,23	0,23	0,02
1b	4	1,818	1,291	0,48	0,14	0,06	-0,10
1c	3	2,602	0,977	0,49	0,10	0,06	-0,10
1d	4	2,852	1,535	0,54	0,24	0,17	0,23
1e	4	1,955	1,875	0,69	0,22	0,12	0,16
M1	19	12,409	3,765	—	0,36	0,24	0,12
M2a	4	1,682	1,291	0,64	0,42	0,26	0,20
2b	3	0,784	0,718	0,52	0,34	0,32	0,23
2c	4	1,955	1,560	0,65	0,41	0,25	0,21
2d	5	1,227	1,266	0,69	0,48	0,26	0,30
2e	5	1,659	1,875	0,86	0,65	0,57	0,46
M2	21	7,307	4,679	—	0,69	0,50	0,43
M3a	4	3,273	1,069	0,32	0,30	0,22	0,07
3b	4	2,500	1,768	0,73	0,53	0,43	0,21
3c	3	1,705	1,383	0,82	0,57	0,49	0,35
3d	2	1,420	0,880	0,78	0,55	0,46	0,28
3e1	4	1,330	1,566	0,80	0,61	0,40	0,29
3e2	3	1,307	1,368	0,73	0,60	0,57	0,34
M3	20	11,534	5,709	—	0,75	0,61	0,37
M4a	4	2,011	0,864	0,22	0,13	0,20	0,25
4b	4	1,636	1,606	0,56	0,30	0,31	0,24
4c1	3	2,580	0,840	0,47	0,30	0,28	0,13
4c2	3	0,784	1,149	0,72	0,48	0,40	0,36
4d1	4	2,489	0,897	0,52	0,45	0,44	0,41
4d2	3	2,534	0,757	0,37	0,21	0,24	0,15
4e1	3	0,602	1,034	0,69	0,49	0,36	0,26
4e2	3	0,511	0,971	0,77	0,60	0,46	0,33
4f	3	0,341	0,693	0,62	0,54	0,53	0,35
M4	30	13,489	4,962	—	0,69	0,63	0,49
M-toets	100	54,739	9,429	—	—	0,80	0,57

De maarttoets is duidelijk slechter gemaakt dan de decembertoets (gemiddeld cijfer 5,5). Toch zijn de opgaven redelijk evenwichtig opgebouwd gezien het skoreverloop en het verloop van de relatieve standaarddeviatie. De korrelatiekoefficiënten tussen de onderdelen en bijbehorende opgaven zijn groot. Ook de korrelatiekoefficiënten tussen de opgaven en onderdelen enerzijds en de toets als geheel anderzijds hebben steeds een positieve waarde. De korrelatiekoefficiënten met de SO- en CSE-cijfers vertonen zeker geen verontrustend beeld. De maarttoets als geheel heeft een grote korrelatiekoefficiënt met de SO- en CSE-resultaten.

Opgave M1 blijkt een tamelijk gemakkelijk, niet erg sterk diskriminerend standaardprobleem met een goede opbouw. Het laatste onderdeel is het moeilijkst en diskrimineert het sterkst. Opgave M2 is het slechtst gemaakt. Zelfs op de kennisvragen M2a en M2b wordt onvoldoende geskoord. In het algemeen blijken de leerlingen deze pas in de eindexamenklas behandelde stof niet goed verwerkt te hebben. De goede leerlingen skoren wel goed zodat deze opgave sterker diskrimineert dan de vorige en bovendien een grote korrelatiekoefficiënt heeft met de SO- en CSE-cijfers. Opgave M3 is evenals opgave M1 goed gemaakt en goed van opbouw. Wel is hier evenals bij opgave M2 het diskriminerend karakter beter dan bij opgave M1 vanwege de grotere standaarddeviatie en de goede korrelatie met de SO- en CSE-cijfers. De praktische opgave M4 is ook onvoldoende gemaakt maar de korrelatiekoefficiënten van de onderdelen en de opgave als geheel met de andere variabelen vertonen zeker geen verontrustend beeld. Het diskriminerend karakter van de opgave ziet er goed uit. Meer dan 50% van de leerlingen behaalt op onderdeel M4a 2 punten. Het oscilloskoopbeeld wordt vaak te slordig overgetekend. Onderdeel M4b blijkt sterker te diskrimineren. Met onderdeel M4c1 hebben de leerlingen in het algemeen geen moeite maar de overgang naar M4c2 is kennelijk te groot. Wanneer de leerlingen M4b fout doen of M4c2 daarna dan loopt het in het algemeen ook mis bij M4e1. Onderdelen M4e2 en M4f zijn daar weer van afhankelijk. Deze afhankelijkheid van de genoemde onderdelen is te zien aan de sterk afnemende gemiddelde skore. Ook de korrelatiekoefficiënten van deze onderdelen met opgave M4 als geheel zijn groter dan die van andere onderdelen. De 'clou' van het vraagstuk blijkt zich ook gezien het gedrag van de korrelatiekoefficiënten in de eerder genoemde onderdelen te bevinden.

*Samengevat:* ook de maarttoets voor het vwo ziet er statistisch gezien evenwichtig uit met evenwichtige vragen zij het aan de moeilijke kant. Ook hier zijn de vragen gespreid over de stof en komen veel doelstellingen van het natuurkundeonderwijs aan bod.

## De decembertoets voor havo

De samenstelling van tabel 8 met een verwerking van de skores van 53 havo-leerlingen is dezelfde als de voorafgaande twee tabellen.

*Tabel 8: Statistische verwerking decembertoets havo  
(N = 53)*

Decembertoets	max. skore	gem. skore	stand. deviatie	korr. HD-opgave	korr. HD-toets	korr. SO	korr. CSE
HD1a1, 2	3	2,660	0,898	0,42	0,21	0,14	0,04
1a3	3	2,113	0,934	0,60	0,42	0,20	0,01
1a4	2	0,774	0,954	0,44	0,06	-0,02	-0,17
1a5	2	0,887	0,974	0,70	0,32	0,36	0,15
1a6	2	0,981	0,990	0,73	0,40	0,32	-0,02
1b	5	0,340	0,831	0,46	0,26	0,22	0,27
1c	3	0,981	1,248	0,58	0,37	0,31	0,18
HD1	20	8,736	3,869	—	0,52	0,40	0,12
HD2a1	2	1,906	0,295	0,14	-0,06	0,23	0,13
2a2	2	1,887	0,320	0,24	0,05	0,23	0,18
2b	3	2,849	0,568	0,40	0,27	0,06	0,12
2c	3	2,019	1,407	0,73	0,20	0,24	0,23
2d	3	1,358	1,388	0,66	0,39	0,11	0,18
HD2	13	10,019	2,291	—	0,42	0,29	0,32
HD3a	3	1,887	1,187	0,67	0,58	0,46	0,39
3b	3	1,547	1,353	0,84	0,37	0,35	0,22
3c	3	1,774	1,354	0,86	0,43	0,51	0,28
3d	3	0,283	0,632	0,39	0,36	0,13	0,19
HD3	12	5,491	3,349	—	0,60	0,53	0,38
HD4a	2	1,038	0,831	0,43	0,28	-0,00	0,23
4b	3	1,340	1,400	0,74	0,32	0,04	0,13
4c	2	0,792	0,906	0,79	0,28	0,09	0,33
4d	2	0,755	0,939	0,82	0,43	0,19	0,46
4e	3	0,472	0,912	0,46	0,37	0,14	0,20
4f	3	0,623	1,147	0,64	0,35	0,23	0,42
HD4	15	5,019	4,026	—	0,51	0,17	0,44
HD5p1	4	3,208	1,044	0,47	0,41	0,16	0,10
5p2	4	2,340	1,192	0,58	0,45	0,40	0,16
5a1	3	1,321	1,237	0,61	0,43	0,23	0,18
5a2	3	0,302	0,822	0,47	0,46	0,27	0,17
5p3	2	0,604	0,884	0,44	0,43	0,45	0,31
5b	3	0,660	1,108	0,51	0,36	0,29	-0,03
5c	3	0,396	0,906	0,51	0,39	0,31	0,12
5d	2	0,868	0,810	0,27	0,17	0,01	0,09
5e	3	0,132	0,590	0,32	0,26	0,25	0,24
5f	3	0,849	1,246	0,68	0,45	0,10	0,18
HD5	30	10,679	4,991	—	0,77	0,48	0,29
HD-toets	100	49,944	11,900	—	—	0,65	0,52



De gemiddelde relatieve scores op de onderdelen blijken in de opgaven in het algemeen van hoog naar laag te lopen. De spreiding is in het algemeen naar verwachting d.w.z. moeilijke onderdelen waarop ca. 50% geskoord wordt hebben in het algemeen een grotere standaarddeviatie dan gemakkelijke en te moeilijke onderdelen. Ook de korrelatiecoëfficiënten tussen de verschillende variabelen vertonen het vertrouwde beeld zoals ook al toegevoegd is bij tabellen 6 en 7. De scores op de laatste onderdelen van de opgaven zijn vaak te laag. De toets bleek te moeilijk. Het gemiddelde cijfer volgens onze correctie bedroeg 5,0. Op alle vraagstukken behalve op vraagstuk HD2 is onvoldoende geskoord. Met name opgave HD4 en de praktische opgave HD5 zijn slecht gemaakt. Opgave HD1 verloopt in het begin goed. In onderdeel a worden de leerlingen goed begeleid, steeds één à twee denkstappen. In onderdeel b met meer denkstappen haken de meeste leerlingen af. Opgave HD2 was gemakkelijk. Als in de bovenbouw enige aandacht is besteed aan geometrische optika dan moeten de leerlingen dit vraagstuk gemakkelijk aankunnen. Ook de probleemstelling van opgave HD3 kan de leerlingen niet vreemd zijn. Toch blijkt de opgave onvoldoende gemaakt te zijn doordat het begrip over de beweging van de lucht wanneer de luchtkolom in staande trilling is dikwijls ontbreekt (onderdeel d). Opgave HD4 is een kennelijk toch te moeilijke variant van een probleem met twee coherente trillingsbronnen. Deze opgave heeft eerder vwo-nivo en is het slechtst gemaakt. De praktische opdrachten p1 t/m p3 van opgave HD5 zijn door meer leerlingen fout uitgevoerd dan verwacht. Sommige leerlingen hebben direct de tijd, nodig voor één trilling, gemeten. Anderen hebben de tijd, nodig om een halve trilling uit te voeren, de trillingstijd genoemd. Ook de grafiek is vaak fout of zeer slordig getekend. Op vraag a2 scoort 66% van de leerlingen nul punten. Vragen b en c worden slecht gemaakt en zelfs op onderdeel d heeft 40% van de leerlingen nul punten geskoord ondanks het feit dat de formule voor de slingertijd gegeven was en er dus alleen maar ingevuld behoefde te worden. Onderdeel e is slechts door twee leerlingen goed beantwoord.

*Samengevat:* de decembertoets voor havo was te moeilijk. Te moeilijke onderdelen zijn bij de statistische bewerkingen buiten beschouwing gelaten, ze zijn niet representatief.

Toch zijn er ook veel onderdelen die goed bruikbaar zijn voor verdere analyse. Bovendien waren de vragen gespreid over de te bestuderen stof en komen veel aspecten van het fysikaonderwijs in de toets als geheel aan bod.

### **De maarttoets voor havo**

Een overzicht van de bewerkingen uitgevoerd met de scores is gegeven in tabel 9 (vergelijk tabellen 6, 7 en 8).

In het algemeen zien de opgaven afzonderlijk en de toets als geheel er evenwichtig uit, gezien het skoreverloop, de standaarddeviatie en de korrelaties met de verschillende variabelen (vergelijk eerder gegeven toelichtingen).

Tabel 9: Statistische verwerking maarttoets havo  
(N = 53)

Maarttoets	max. skore	gem. skore	stand. deviatie	korr. M-opgave	korr. M-toets	korr. SO	korr. CSE
HM1a	4	2,830	1,267	0,84	0,35	0,21	-0,04
1b	3	2,679	0,701	0,76	0,53	0,49	0,22
1c	3	1,906	1,005	0,66	0,44	0,30	0,17
1d	4	3,283	1,183	0,72	0,33	0,25	0,06
HM1	14	10,698	3,111	—	0,53	0,39	0,11
HM2a	2	1,604	0,743	0,52	0,42	0,34	0,04
2b	4	3,264	1,288	0,73	0,63	0,48	0,19
2c	3	2,283	0,948	0,65	0,63	0,55	0,22
2d	3	1,075	0,937	0,51	0,36	0,12	0,10
2e	5	2,189	2,122	0,75	0,42	0,36	0,36
HM2	17	10,415	4,002	—	0,74	0,56	0,33
HM3a	4	2,736	1,470	0,91	0,74	0,56	0,47
3b	4	3,075	1,504	0,82	0,72	0,45	0,27
3c	4	2,660	1,709	0,85	0,71	0,57	0,41
3d	3	0,491	1,085	0,50	0,35	0,26	0,24
HM3	15	8,962	4,574	—	0,82	0,60	0,45
HM4a	2	1,566	0,747	0,32	0,02	-0,06	-0,04
4b	2	1,302	0,845	0,48	0,30	0,26	0,05
4c	2	1,623	0,527	0,55	0,23	0,21	0,10
4d	3	1,981	1,201	0,65	0,44	0,51	0,14
4e	2	1,245	0,875	0,54	0,33	0,38	0,28
4f	3	1,302	1,409	0,64	0,32	0,39	0,26
HM4	14	9,019	3,085	—	0,54	0,58	0,27
HM5a	6	3,377	2,255	0,70	0,38	0,39	-0,07
5b	9	5,019	1,461	0,59	0,17	0,11	0,06
5c	6	3,245	2,093	0,62	0,39	0,31	0,05
5d	9	0,585	1,598	0,40	0,20	-0,07	0,14
HM5	30	12,226	4,371	—	0,51	0,36	0,06
HM-toets	100	61,320	12,410	—	—	0,78	0,39

De maarttoets is veel beter gemaakt dan de decembertoets. Alle theorie-opgaven zijn voldoende gemaakt. Alleen op de praktische opgave is slecht geskoord met name op onderdeel d.

Bij opgave HM1 leverde het berekenen van de lorentzkrachten weinig problemen op. De te geven toelichtingen vertoonden vaak gebreken (onderdelen a en c). Opgave HM2 is ook goed gemaakt. Bij onderdeel d wordt vaak de goede vorm van de baan genoemd zonder of met foute toelichting. Er is dan één punt toegekend (25 x). In onderdeel e zitten nogal wat denkstappen. Ongeveer de helft van de leerlingen lost dit probleem redelijk goed op

(3, 4 of 5 punten). Opgave HM3 diskrimineert het best (grootste standaarddeviatie én grootste korrelatiekoefficienten met de SO- en CSE-cijfers). Slechts 8 leerlingen doen onderdeel d goed. Opgave HM4 is een origineel probleem waar de leerlingen toch niet veel moeite mee hebben gezien de skores. Bij de praktische opgave gaat het vaak bij onderdeel a al mis. Het aflezen van een ampèremeter en het vastleggen van de meetresultaten levert meer problemen op dan verwacht. Bij het tweede onderdeel (b) heeft slechts één leerling een asymptoot getekend en die bevond zich bij  $60^\circ$ . Doordat de rest van de leerlingen niet op het idee gekomen is van de aanwezigheid van een asymptoot konden zij maximaal 6 punten skoren. Onderdeel c is ook nog redelijk goed gemaakt maar uit de skore op onderdeel d blijkt dat vrijwel niemand de clou van het vraagstuk begrepen heeft. Doordat opgave HM5 uit slechts vier onderdelen bestaat, waarvan het laatste onderdeel in feite mislukt is, zijn bij deze toets minder praktische vaardigheden aan bod gekomen dan bij de drie eerder beschreven toetsen.

*Konklusie:* de maarttoets voor havo is evenwichtig kwa opbouw met evenwichtige vragen. Er is een goede spreiding over de te bestuderen stof en er komen vele facetten van het fysikaonderwijs aan bod; echter minder praktische vaardigheden dan bij eerder beschreven toetsen.

### Kanonieke korrelatierekening vwo

Met de skores op onderdelen van de decembertoets en de maarttoets en de cijfers voor SO en CSE is kanonieke korrelatierekening uitgevoerd. Hiervoor zijn vooraf intuïtief een aantal groepen variabelen samengesteld:

1. SO- en CSE-cijfers.

Deze cijfers geven weer wat een leerling in het algemeen bezit aan fysische kennis, inzicht en vaardigheden.

2. Standaardopgaven D1 en M1.

Deze opgaven hebben een probleemstelling waarmee de leerlingen vertrouwd zullen zijn.

3. Inzichtopgaven D3 en M2.

Dit type opgaven vereist meer inzicht dan kennis van de leerlingen. Ze plaatsen de leerlingen in een nieuwe situatie. Onder inzicht wordt hier verstaan: 'inzicht-zoals-door-leraren-bedoeld', via een enquête onderzocht door Stumpel [117].

4. Praktische opgaven D5 en M4.

5. Standaardonderdelen D1b, 2b, M1a, 1b.

6. Inzichtonderdelen D3c, 4c, M2c, 3c.

7. Praktische onderdelen D5M, M4a, 4d1, 4d2.

Deze onderdelen van de praktische opgaven testen praktische vaardigheden en praktisch inzicht.

De resultaten van kanonieke korrelatierekening met de groepen variabelen 1 t/m 7 zijn weergegeven in tabel 10. De tabel moet als volgt gelezen wor-

den. In de bovenste helft van een hokje staat linksboven de eerste kanonieke korrelatiecoëfficiënt en rechtsboven een + of - al naar gelang de overschrijdingskans kleiner of groter is dan 0,050. Daaronder staat de overschrijdingskans. In de onderste helft van een hokje staat de tweede kanonieke korrelatiecoëfficiënt, echter alleen als de berekende overschrijdingskans kleiner is dan 0,050.

Tabel 10: Kanonieke korrelatiecoëfficiënten vwo met overschrijdingskansen

	SO/CSE (1)	Onderdelen			Opgaven	
		standaard (5)	inzicht (6)	praktisch (7)	standaard (2)	inzicht (3)
onderdelen standaard (5)	0.48 + 0.002					
onderdelen inzicht (6)	0.65 + 0.000 0.31 + 0.039	0.38 - 0.257				
onderdelen praktisch (7)	0.53 + 0.000	0.38 - 0.240	0.36 - 0.144			
opgaven standaard (2)	0.42 + 0.002	0.73 + 0.000 0.63 + 0.000	0.28 - 0.351	0.35 - 0.161		
opgaven inzicht (3)	0.57 + 0.000	0.38 - 0.094	0.81 + 0.000 0.65 + 0.000	0.37 - 0.124	0.32 - 0.050	
opgaven praktisch (4)	0.72 + 0.000	0.28 - 0.559	0.32 - 0.305	0.63 + 0.000 0.56 + 0.000	0.28 - 0.080	0.42 + 0.003

Uit de tabel blijkt dat de kanonieke korrelatiecoëfficiënt tussen de SO- en CSE-cijfers en de overige groepen steeds significant is. Van de opgaven kunnen we dit eerder verwachten dan van de onderdelen omdat in een opgave meer aspecten van de natuurkunde getoetst worden dan in een onderdeel. Daardoor zijn de korrelatiecoëfficiënten tussen opgaven enerzijds

en SO- en CSE-cijfers anderzijds in het algemeen hoger dan tussen onderdelen en SO- en CSE-cijfers (zie tabellen 6 en 7).

In het algemeen zijn de weegfactoren behorend bij de variabele 'SO-cijfers' groter dan de weegfactoren behorend bij de CSE-cijfers. Dit is te verwachten gezien de korrelatiecoëfficiënten (tabellen 6 en 7). Eerder genoemd verschijnsel zullen we vaak tegenkomen bij kanonieke korrelatierekening tussen toetsen of onderdelen van toetsen enerzijds en SO- en CSE-cijfers anderzijds.

Bij de kanonieke korrelatie tussen de inzichtonderdelen en de SO- en CSE-cijfers is ook de tweede kanonieke korrelatiecoëfficiënt significant. De korrelatiecoëfficiënten tussen de gekozen onderdelen en de SO- en CSE-cijfers blijken in een aantal gevallen hoge waarden te hebben (tabellen 6 en 7).

In tabel 10 zien we verder dat de onderdelen standaard, inzicht en praktisch met elkaar geen significante kanonieke korrelatie vertonen en alleen met de opgaven wanneer deze van dezelfde soort zijn. In die gevallen zijn er steeds twee significante kanonieke korrelaties. Bekijken we de weegfactoren dan zien we steeds de koppeling van onderdeel met bijbehorende opgave, hetgeen te verwachten is ook gezien de korrelatiecoëfficiënten (tabellen 6 en 7). Het lijkt daarom zinvol te zoeken naar inzichtonderdelen die niet tot de opgaven D3 en M2 behoren en naar standaardonderdelen die behorend tot opgaven D1 en M1. Deze 'tweede-keuze-onderdelen' leveren in sommige gevallen wel en in sommige gevallen geen significante kanonieke korrelatiecoëfficiënt met de twee typen opgaven zodat het kiezen van 'vreemde' onderdelen niet verhelderend werkt.

De kanonieke korrelatiecoëfficiënten tussen de verschillende typen opgaven onderling hebben een overschrijdingskans rond 0,05 terwijl er één veel kleiner is dan 0,05, zoals blijkt uit tabel 10. De weegfactoren van de vier variabelen zijn in dat geval ongeveer even groot.

Uit kanonieke korrelatierekening met de intuïtief samengestelde groepen volgt dat het erop lijkt dat de groepen onderscheiden kunnen worden. Het onderscheid is zeker niet overtuigend gezien de koppelingen tussen onderdelen en bijbehorende opgaven. Het zoeken naar onderscheid wordt vertroebeld door twee oorzaken:

a. de wijze waarop de groepen samengesteld zijn.

Toetsen de gekozen variabelen wel de hen toegeschreven vaardigheden?

b. het niet konsekwente gedrag van de leerlingen.

Wanneer meerdere toetsvragen een beroep doen op dezelfde vaardigheid dan scoort een leerling in het algemeen niet op dezelfde wijze, zeker niet wanneer de toetsvragen gedurende twee verschillende tijdsperioden (3 à 4 maanden uit elkaar) aan hem worden voorgelegd.

## Kanonieke korrelatierekening havo

Evenals voor vwo zijn ook voor havo met betrekking tot kanonieke korrelatierekening een aantal groepen samengesteld.

1. SO- en CSE-cijfers.
2. Standaardopgaven HD2 en HM1.
3. Inzichtopgaven HD1 en HM4.
4. Praktische opgaven HD5 en HM5.
5. Standaardonderdelen HD3a, 4ab, HM3a, 4b.
6. Inzichtonderdelen HD3bc, 4d, HM2e, 3c.
7. Praktische onderdelen 1 HD5p1, 5p3, HM5a.
8. Praktische onderdelen 2 HD5p2, a1, HM5b, 5c.

Er is onderscheid gemaakt tussen een groep praktische onderdelen 1, waar het gaat om het verkrijgen van meetresultaten en een groep praktische onderdelen 2, waar het om gaat om het verwerken van meetresultaten (grafieken tekenen en interpreteren). Het resultaat van kanonieke korrelatierekening is weergegeven in tabel 11. De wijze van indeling is dezelfde als van tabel 10.

De kanonieke korrelatiecoëfficiënt van de groepen onderdelen en opgaven met de SO- en CSE-cijfers is ook hier steeds significant behalve in het geval praktische onderdelen 2. Ten aanzien van de inzichtonderdelen zijn twee kanonieke korrelatiecoëfficiënten significant, in het eerste geval zijn de gewichtsfactoren van SO, HM3c en HD3bc het grootst, in het tweede geval van CSE en HD4d. Bij alle kanonieke korrelatieberekeningen met SO- en CSE-cijfers is de gewichtsfactor bij de eerste kanonieke korrelatie van SO groter dan die van CSE. Bekijken we de kanonieke korrelatiecoëfficiënten tussen onderdelen en opgaven van dezelfde soort dan blijkt deze steeds significant ondanks het feit dat de onderdelen zo veel mogelijk gekozen zijn uit opgaven van een ander soort. Alleen bij de praktische onderdelen was dit onmogelijk. We zien daar dan ook in beide gevallen twee significante kanonieke korrelaties. In het geval praktisch 1 zijn bij de eerste kanonieke korrelatie de gewichtsfactoren van de twee opgaven en de drie onderdelen ongeveer even groot. Bij de tweede kanonieke korrelatie is er duidelijk een koppeling tussen onderdelen en bijbehorende opgave. In het geval praktisch 2 is deze koppeling er bij beide kanonieke korrelaties. Vervolgens bekijken we de kanonieke korrelatie tussen de groepen onderdelen onderling. In drie gevallen is er geen significante kanonieke korrelatie. In het geval standaard-inzicht zijn twee kanonieke korrelatiecoëfficiënten significant. Bij de eerste zien we de koppeling HM3a en 3c en bij de tweede HD4d en 4ab. Ook in het geval praktisch 1 – praktisch 2 zien we, gezien de gewichtsfactoren, de koppeling tussen onderdelen uit dezelfde opgave HD5p1, 5p2 en 5a1. Tussen de groepen opgaven onderling is slechts één significante kanonieke korrelatie. Gezien de gewichtsfactoren is er in dat geval koppeling tussen de opgaven uit dezelfde toets.

Tussen groepen onderdelen en opgaven van verschillende soort is in twee ge-

Tabel 11: Kanonieke korrelatiecoëfficiënten havo met overschrijdingskansen

	SO/CSE (1)	Onderdelen				Opgaven	
		standaard (5)	inzicht (6)	prakt. 1 (7)	prakt. 2 (8)	standaard (2)	inzicht (3)
standaard onderdelen (5)	0.69 + 0.000						
inzicht onderdelen (6)	0.72 + 0.000 0.39 + 0.045	0.82 + 0.000 0.55 + 0.003					
praktisch 1 onderdelen (7)	0.67 + 0.000	0.47 - 0.227	0.48 + 0.028				
praktisch 2 onderdelen (8)	0.47 - 0.108	0.57 - 0.118	0.39 - 0.623	0.47 + 0.047			
standaard opgaven (2)	0.49 + 0.003	0.48 + 0.027	0.41 - 0.106	0.45 - 0.077	0.35 - 0.481		
inzicht opgaven (3)	0.63 + 0.000	0.59 + 0.004	0.48 + 0.004	0.42 - 0.126	0.49 - 0.094	0.17 - 0.814	
praktische opgaven (4)	0.58 + 0.000	0.53 + 0.023	0.40 - 0.302	0.73 + 0.000 0.65 + 0.000	0.82 + 0.000 0.75 + 0.000	0.40 + 0.027	0.32 - 0.248

vallen significante kanonieke korrelatie. In het geval standaardonderdelen-inzichtopgaven is dit te verwachten. We hebben de koppeling tussen HM4b en M4. Er is ook met anders samengestelde groepen onderdelen kanonieke korrelatierekening uitgevoerd. Het beeld is steeds hetzelfde:

1. De kanonieke korrelatie tussen groepen opgaven of onderdelen enerzijds en SO- en CSE-cijfers anderzijds is meestal significant.
2. De kanonieke korrelatie tussen groepen opgaven en groepen onderdelen van dezelfde soort is meestal significant.
3. De kanonieke korrelatie tussen groepen opgaven onderling, tussen groepen onderdelen onderling en tussen groepen opgaven en onderdelen steeds van verschillende soort is meestal niet significant, tenzij de koppeling aanwezig is dat de verschillende onderdelen uit dezelfde opgave komen of dat onderdelen en een bijbehorende opgave bekeken worden.

## 'Principal factor' analyse vwo

De 'principal factor' analyse is toegepast op een aantal geselecteerde variabelen. Hiervoor is SPSS gebruikt. De naamgeving van de variabelen spreekt in de meeste gevallen voor zich. Een aantal variabelen is nog een aparte naam gegeven.

$$\begin{aligned} \text{DMab} &= \text{D2ab} + \text{D3ab} + \text{D4ab} + \text{M3a} & \text{D ab} &= \text{D1a} + \text{D2ab} + \text{D3ab} + \text{D4ab} \\ \text{DMab 2} &= \text{D2ab} + \text{D3ab} + \text{M3a} & \text{M ab} &= \text{M1a} + \text{M2ab} + \text{M3a} \\ \text{DMstand} &= \text{D1} + \text{M2ab} + \text{M1cd} & \text{D cd} &= \text{D3cd} + \text{D4de} \\ \text{DMcd} &= \text{M3 bcde} + \text{D3cd} & \text{M cd} &= \text{M2cde} + \text{M3cde} \\ \text{DMmeet} &= \text{D5abcM} + \text{M4a} \end{aligned}$$

In tabel 12 staat een overzicht van de groepen variabelen, in totaal 13. Op deze variabelen is principal factor analyse toegepast steeds met varimax rotatie, soms ook met quartimax rotatie en in de laatste twee gevallen ook met scheve rotatie waarbij een geschikte waarde voor  $\delta$  gezocht is.

De berekeningen van de gerooteerde matrix verlopen via een iteratief proces [101]. Bij de scheve rotatiemethode van SPSS zijn een aantal  $\delta$ 's gekozen die de scheefheid van de rotaties vastleggen. Het iteratieproces bleek binnen het kleinste aantal stappen afgebroken te worden voor een waarde van  $\delta = 0,35$ .

Tabel 12: 'Principal factor' analyses vwo

N	m	p	%1	%p	variabelen
1	32	12	18	72	D1abc,1d,2ab,2c,2d,3ab,3c,3d,4ab,4c,4de,5a,5bc,5de,5fg,5m; M1ab,1cd,1e,2ab,2c,2d,2e,3a,3bcd,3e,4a,4bc,4d,4ef,SO,CSE.
2	22	8	22	66	D1,2ab,2cd,3ab,3cd,4abc,4de,5abc,5de,5fg,5m; M1,2ab,2cde,3a,3bcde,4a,4bc,4d,4ef,SO,CSE.
3	11	4	25	59	D1, D2, D3, D4, D5abcd, D5efg; M1, M2, M3, M4ad, M4bcef, SO, CSE.
4	15	4	28	54	D1, DMab, D3cd, D5abcm, D5defg; M1abe, M1cd, M2ab, M2cde, M3bcde, M4a, M4bc+2ef, M4d, SO, CSE.
5	11	4	22	56	D1+M2ab, DMab, D3cd, D5abcm, D4defg; M1abe, M1cd, M2cde, M3bcde, M4a, M4d.
6	14	6	22	67	D1c, D3c, D4c, D5c, D5e, D5g, D5m; M1e, M2a, M2c, M3bc, M4b, SO, CSE.
7	12	6	16	67	Dezelfde als 6 maar zonder SO en CSE.
8	7	3	28	61	DMstand, DMab, M1abe, DMcd, D5defg, M4d, DMmeet.
9	8	3	34	61	DMab2, D5e, D5g, D5m, M2c, M2bc, SO, CSE.
10	6	2	26	45	Dezelfde als 9 maar zonder SO en CSE.
11	6	2	47	66	DMstand, DMab, DMcd, DMmeet, SO, CSE.
12	13	5	29	68	Dab, Mab, Dcd, Mcd, D5ab, D5c, D5fg, D5m, M4d, M4cef, M4a, SO, CSE.
13	11	5	23	67	Dezelfde als 12 maar zonder SO en CSE.



In de tabel staan achtereenvolgens het rangnummer van de analyse (N), het aantal variabelen (m), het aantal factoren met eigenwaarde groter dan 1 (p), het percentage van de variantie dat verklaard wordt door de eerste faktor (%1), het percentage dat verklaard wordt door p factoren samen (%p) en de variabelen die gekozen zijn. Bij de eerste analyse zijn alle onderdelen van de opgaven van de december- en maarttoets ofwel apart ofwel in combinatie als variabelen gebruikt. Bij de overige analyses is vaak gebruik gemaakt van de vorige. Zo leverde analyse 3 (tabel 12), waar gehele opgaven gebruikt zijn geen zinvolle resultaten. In de volgende analyses zijn daarom alleen gehele opgaven als variabelen gebruikt als er gesproken kan worden van een homogene opgave (b.v. D1). Onderdelen zijn soms bij elkaar gevoegd als het resultaat in eerdere analyses hetzelfde was, maar ook als er fysisch inhoudelijke argumenten waren (b.v. de a- en b-onderdelen van enkele opgaven waarin hetzelfde soort vragen worden gesteld).

Bij de verschillende analyses komt er ondanks de variatie van variabelen toch steeds eenzelfde patroon naar voren. Bepaalde factoren komen steeds terug. Deze factoren zijn te interpreteren doordat steeds dezelfde onderdelen daar hoog op scores en andere onderdelen juist laag. Dit wijst op een zeker onderscheid tussen de ene groep onderdelen en de andere groep. Doorgaans geven varimax en quartimax rotatie hetzelfde beeld. Dit betekent dat de gevonden factoren niet door toepassen van één bepaalde rotatie naar voren komen. Ook de scheve rotatie, uitgevoerd bij analyses 12 en 13, levert geen nieuwe factoren. De regelmatig terugkerende factoren kunnen als volgt geïnterpreteerd worden.

*a. algemeen fysische kennis, inzicht en vaardigheden*

Dit is een faktor waar veel variabelen hoog op scores. Het is steeds de eerste faktor als er nog geen rotatie heeft plaatsgevonden. Na rotatie is de algemene faktor vaak verdwenen zowel bij varimax, quartimax als ook bij scheve rotatie. Ook de SO- en CSE-cijfers scores op deze faktor steeds hoog. Daarnaast scores vaak hoog: M2cde, M3bc en D5eg. Bij de benoeming van de factoren speelden SO en CSE de belangrijkste rol. De cijfers voor SO en CSE geven speciaal weer wat een leerling zoal aan 'fysische bagage' bij zich heeft.

*b. standaard kennis en inzicht in een theoretisch-fysisch probleem*

Deze faktor is o.a. herkenbaar door de gemakkelijke vragen, de aanloopvragen van een groter probleem. Hoog wordt in het algemeen geskoord door de beginonderdelen van de theorievraagstukken. Op deze faktor wordt ook hoog geskoord door de opgaven D1 en M1 vaak gescheiden maar een enkele keer ook samengaan. Deze opgaven kunnen voor een vwo-leerling beschouwd worden als standaardvraagstukken. Speciaal bij analyses 12 en 13 vinden we ook zonder rotatie een onderscheid tussen de a- en b-onderdelen van de decembertoets enerzijds en de a- en b-onderdelen van de maarttoets anderzijds. Deze twee factoren zijn na de scheve rotatie het hoogst gekorleerd.

*c. (dieper) inzicht in een theoretisch-fysisch probleem*

Op deze faktor is de faktorlading van de inzichtonderdelen zowel van de decembertoets als van de maarttoets hoog. De gemiddelde score op deze onderdelen zelf is vaak laag, ze diskrimineren sterk (tabellen 6 en 7). De onderdelen bevatten de clou van het vraagstuk en komen dus na de gemakkelijke aanloopvragen waarop in het algemeen juist hoog geskoord is.

Voor de faktor 'inzicht' is DMcd richtingbepalend. Ook scores M1e, D5efg en D4 hoog.

*d. experimentele vaardigheid*

Deze faktor wordt bepaald door onderdelen van de praktische opgaven D5 en M4 en wel die onderdelen waarin 'metingen verrichten' of 'aflezen' getoetst wordt. Onderdeel D5M is richtingbepalend. Ook scores D5abc, D5efg, M4a hoog.

*e. inzicht in een experimenteel fysisch probleem*

Deze faktor wordt bepaald door de onderdelen van de praktische opgaven waarin inzicht in een praktisch fysische situatie getoetst wordt. Het onderscheid tussen d. en e. is vaak moeilijk aan te geven. Hoog scores vaak D5bcfg, M4bcefg, de slecht gemaakte onderdelen van de praktische opgaven. Maar ook wordt soms hoog geskoord door M4a.

Onderscheid tussen de verschillende factoren is in sommige gevallen moeilijk aan te geven. Zo neigt de faktor algemeen fysische kennis en inzicht soms naar standaardkennis en inzicht (DMab, D1) en soms naar dieper inzicht (DMcd). De verschillende onderdelen van de toets kunnen met meer of minder gewicht aanwezig zijn in de faktor algemeen fysische kennis en inzicht. Ook bij de andere factoren zien we vaak kleine aksentverschuivingen. Op grond van de toets van Anderson (hoofdstuk 6) kan niet gezegd worden dat er een aantal factoren duidelijk te onderscheiden is. De eerste faktor zonder rotatie verklaart steeds veel meer van de variantie dan de andere factoren. Ik kom hierop terug in hoofdstuk 12.

Toch blijken de meeste factoren bij de verschillende analyses ondanks de variatie van variabelen terug te keren. Ondanks orthogonale en scheve rotatie handhaven de meeste factoren zich; ze worden wel duidelijker herkenbaar.

Vergelijken we met kanonieke korrelatierekening voor vwo dan blijkt grote overeenstemming. Naast algemeen fysische kennis, inzicht en vaardigheden bepaald door SO en CSE vinden we dat ook met 'principal factor' analyse theoretische- en praktische vaardigheden onderscheiden kunnen worden. Binnen een theoretische toets kan onderscheid gemaakt worden tussen 'standaard kennis en inzicht' en '(dieper) inzicht'. Daarnaast vinden we praktische vaardigheden die te onderscheiden zijn in 'experimenteren' en 'inzicht in een praktisch probleem'.

## 'Principal factor' analyse havo

Het faktoranalyseprogramma van SPSS is evenals voor het vwo ook voor het havo gebruikt bij de analyse van de schoolonderzoektoetsen. Er zijn twee orthogonale rotatiemethoden toegepast, te weten varimax en quartimax. Er is geen gebruik gemaakt van scheve rotaties omdat dit zoals bij het vwo bleek, geen nieuwe informatie opleverde.

Principal factor analyse is toegepast op een aantal geselecteerde variabelen. Een overzicht is gegeven in tabel 13 (vergelijk tabel 12).

Tabel 13: 'Principal factor' analyses havo

N	m	p	% 1	% p	variabelen
1	23	7	22,3	70,4	D3a,3bc,4ab,4d,5p1,5p2,5a1,5p3 M2e,3a,3c,4b,5a,5b,5c SO, CSE, D1,D2,D5,M1,M4,M5
2	17	5	24,3	64,0	idem zonder D1,D2,D5,M1,M4,M5
3	12	4	29,9	66,0	D3abc,4d,5p13,5p2,5a1 M2e,3ac,4cd,5a,5c, SO, CSE
4	10	3	25,0	56,1	idem zonder SO, CSE
5	10	3	33,2	62,0	D3abc,4d,5p13,5p2 M2e,3ac,5a,5c,SO, CSE
6	8	3	27,7	60,9	idem zonder SO, CSE

Er zijn 6 analyses uitgevoerd. Begonnen is met de 23 variabelen die ook gekozen waren voor kanonieke korrelatierekening. Daarna is het aantal variabelen steeds kleiner gemaakt ofwel door weglaten ofwel door samenvoegen van variabelen. Bij de eerste analyse waren slechts twee factoren interpreteerbaar: een faktor 'algemeen fysisch' en een faktor 'praktisch'. De opgaven bleken een storende invloed te hebben waardoor de overige factoren niet interpreteerbaar waren. Deze storende invloed is begrijpelijk omdat een opgave in principe nooit zo opgebouwd is dat slechts één vaardigheid getoetst wordt. Bij de tweede analyse kwamen al meer te interpreteren factoren naar voren die zich handhaafden bij verdere analyses. De belangrijkste steeds terugkerende faktor interpreteren we als 'algemeen fysieke kennis, inzicht en vaardigheden'. Als nog geen rotatie heeft plaatsgevonden skoren veel variabelen op deze faktor hoog. Ook na rotatie blijft de faktor in het algemeen gehandhaafd, meestal als eerste faktor. Er treedt dan een akzentverschuiving op: zonder rotatie skoren ook enkele praktische onderdelen redelijk hoog, na rotatie niet. M.a.w. de faktor 'algemeen fysieke kennis en inzicht' ontwikkelt zich na rotatie tot een faktor 'algemeen theoretisch fysieke kennis en inzicht'. Behalve de faktor 'algemeen (theoretisch) fysisch' kunnen we zonder en met rotaties nog twee factoren onderscheiden die bij de analyses steeds terugkomen. Deze twee factoren zijn beide praktisch getint. Steeds skoren onderdelen van de praktische opgaven hoog.

De twee factoren zijn aanvankelijk moeilijk te scheiden maar naarmate het aantal variabelen kleiner wordt zijn de verschillen duidelijker. Op de faktor 'praktisch I' skoren de onderdelen D5p2, D5p13 en M5c hoog. Op de faktor 'praktisch II' scoort M5a hoog. Aanvankelijk worden ook de praktische onderdelen D5p2, D5a1 en M5c meegenomen maar in de loop van de analyses worden de faktorladingen van deze onderdelen kleiner. Het verschil tussen de twee praktische factoren is moeilijk weer te geven. De faktor 'praktisch I' lijkt meer een inzichttintje te hebben. Bij de opdrachten HD5p1 t/m 5p3 moet de leerling zelf bepalen hoe en wanneer hij meet en hij moet z'n meetresultaten verwerken in grafieken. Bij het onderdeel HM5c moet de leerling de meetresultaten van HM5a gebruiken en combineren met een gegeven formule.

De faktor 'praktisch II' graaft iets minder diep. Bij onderdeel HM5a hoeft hij alleen maar meters af te lezen wanneer de leraar (demonstrator) dat zegt.

Principal factor analyse, toegepast op de twee toetsen voor havo eindexamenkandidaten levert uiteindelijk twee duidelijk te onderscheiden factoren – algemeen theoretisch fysische kennis en inzicht, – praktische vaardigheden (waarnemen en verwerken van waarnemingen). Dit is een bevestiging van kanonieke korrelatierekening. Voor havo-leerlingen is de eerst genoemde faktor niet te splitsen in een 'standaardachtige' en een 'inzichtachtige' faktor zoals voor vwo-leerlingen. Wellicht ervaart een havo-leerling een standaardachtige vraag niet als zodanig. Voor hem is elk probleem steeds weer een nieuw probleem. De tweede genoemde faktor wordt in de loop van de analyses gesplitst in twee factoren. Het verschil tussen deze factoren is moeilijk te beschrijven. Met kanonieke korrelatierekening waren ook de verschillen tussen 'standaard' en 'inzicht' minder duidelijk dan bij het vwo.

Bovendien waren ook voor kanonieke korrelatierekening intuïtief al twee soorten praktische vaardigheden gekozen die overigens niet precies dezelfde zijn als de nu gevonden praktische factoren.

### **Ervaringen en konklusies**

Zowel de (theorie)vraagstukken als het demonstratieprobleem hebben gedurende de cursus 1978/79 goed voldaan. De twee toetsen voor havo en voor vwo waren van een goed nivo. Hoewel een demonstratieprobleem als praktische toets gemakkelijk te realiseren is worden daarmee volgens de deelnemende leraren te weinig praktische vaardigheden getoetst. Bovendien vonden zij samenwerking bij toetsing door middel van (theorie)opgaven niet nodig. Uit de analyses komt een beeld naar voren dat de onderdelen van de toetsen te verdelen zijn in een aantal categorieën die ieder specifieke vaardigheden toetsen. Met name wordt bij herhaling onderscheid gevonden tussen vaardigheden samenhangend met praktisch werk en vaardighe-

den samenhangend met het oplossen van (theorie)vraagstukken. Ik zal me echter niet meer bezig houden met verdere analyse van vaardigheden die samenhangen met het schriftelijk oplossen van (theorie)vraagstukken maar mij beperken tot de analyse van vaardigheden samenhangend met praktisch werk. Als referentie voor algemeen fysische kennis, inzicht en vaardigheden kunnen altijd de cijfers voor SO en CSE genomen worden.

## Hoofdstuk 8

### DE PRAKTIKUMTOETSEN VOOR HET VWO

*You want men who can teach and that class has to be created.*

*Michael Faraday*

Na de ervaringen met de demonstratietoetsen voor havo en vwo hebben de leraren van het samenwerkingsverband voorkeur uitgesproken voor praktische toetsen waarbij leerlingen zelf individueel experimenten uitvoeren. De leraren hadden intussen de gelegenheid gehad hun leerlingen op praktikumtoetsen voor te bereiden door meer praktikum in het bovenbouwprogramma op te nemen dan voorheen. De opzet van praktikumtoetsen vereist meer voorbereiding en organisatie dan de demonstratietoets. Om die reden is besloten om deze nieuwe vorm van praktisch toetsen als experiment alleen te realiseren voor het vwo.

Gedurende de cursus 1979/80 zijn in samenwerking twee praktikumtoetsen ontwikkeld. Op de scholen was van elke proef een vijftal opstellingen aanwezig. Zowel voor de metingen als voor de uitwerking van elke proef kregen de leerlingen 30 minuten. Uitgaande van 5 opstellingen konden 25 leerlingen zonder problemen dezelfde proeven doen volgens onderstaand schema. De leerlingen doen de proeven dan allemaal in dezelfde volgorde.

- 1e half uur: een vijftal leerlingen meet aan proef 1.
- 2e half uur: hetzelfde vijftal meet aan proef 2 (een tweede vijftal meet aan proef 1)
- 3e en 4e half uur: het eerste vijftal werkt proeven 1 en 2 uit (na het 4e half uur begint een vijfde vijftal aan proef 1).

Om meer dan 25 leerlingen te laten deelnemen zonder contactmogelijkheden zijn meer opstellingen nodig ofwel moet men de eerste groep(en) leerlingen langer vasthouden na het uitwerken van de proeven.

#### De praktikumproeven

De twee praktikumtoetsen zijn eind februari 1980 voorgelegd aan de vwo-leerlingen van 5 scholen van het samenwerkingsverband. De proeven zijn beide volledig uitgevoerd door 96 leerlingen. De leerlingen hoefden zich niet speciaal te prepareren op de proeven. Wel mochten zij tijdens de afneming van de toetsen gebruik maken van hun natuurkundeboek en eigen aantekeningen. De tekst van de twee toetsen is te vinden in appendix II-1 t/m II-4. Praktikumproeven 1 en 2 waren elk genormeerd op 45 punten (appendix II-6 en II-7). De som van de scores op de twee proeven lever-

de het cijfer voor het praktische gedeelte van het schoolonderzoek op de wijze die gebruikelijk is bij het centraal schriftelijk eindexamen. Er is gepoogd bij de twee proeven zoveel mogelijk vaardigheden verbonden aan experimenteel werk (CITO-lijst) aan de orde te laten komen. Bij praktikumproef 1 zien we naast 'uitvoering van het experiment' en 'bewerking van de waarnemingen' ook 'voorbereiding van het experiment'. Bij praktikumproef 2 zien we ook 'verantwoording van verrichtingen en resultaten'. De normering van de onderdelen maakt zoveel mogelijk onderscheid tussen de verschillende vaardigheden (appendix II-6 en II-7). Bij de toekenning van de punten voor de verschillende onderdelen is ook rekening gehouden met de tijd die de leerlingen nodig hebben voor de uitvoering van de opdrachten. Daardoor krijgt het tekenen van grafieken nogal wat punten. Aan de docenten is gevraagd of zij behalve de toegekende punten ook zoveel mogelijk opmerkingen wilden noteren bij de uitvoering van het experiment. Om organisatorische redenen bleek dit achteraf een te moeilijke opgave. Zelfs het toekennen van punten gebeurde vaak enigszins spekulatief. Wanneer de aandacht van een docent gevestigd was op een leerling die onhandig of fout bezig was dan werden vaak te beoordelen vaardigheden van andere leerlingen bij het praktisch werk gemist. De argumentatie van de docent voor de toegekende punten was dan bijvoorbeeld: 'hij heeft goede meetresultaten verkregen dus hij zal wel handig gemeten hebben' of 'hij is aan het meten dus zal de opstelling wel goed opgebouwd zijn'. Wel kan de beoordeling van de uitvoering van de proeven verbeterd worden door meer beoordelaars in te schakelen. Men kan dan bovendien werken met beoordelingslijsten die gedetailleerder zijn dan onze lijsten.

#### *Praktikumproef 1: stroming van water*

De leerlingen kregen het eerste blad om zich te oriënteren op de proef (appendix II-1). Als 'voorbereiding op het experiment' moesten zij vier vragen beantwoorden. Pas na inlevering van de antwoorden (na ca. 10 minuten) werd hen het tweede blad verstrekt (appendix II-2). Hierop stonden opdrachten betrekking hebbend op 'uitvoering van het experiment' en 'bewerking van de waarnemingen'. Tevens waren op dit blad de antwoorden op vragen 1 t/m 4 te vinden voorzover ze van belang waren voor de uitvoering van de opdrachten. Een variant van de proef is al eerder gebruikt als demonstratieproef [9].

De grootte van de uitstroomopening was zo gemaakt dat de totale uitstroomtijd ca. 200 s bedroeg. Er worden dan voldoende meetpunten verkregen wanneer om de 15 s wordt afgelezen. Een tijdsduur van 15 s blijkt voldoende voor het aflezen en vastleggen van het meetresultaat. De totale uitstroomtijd mag niet veel langer zijn dan 200 s omdat de beschikbare tijd voor de praktikumopdracht (ca. 20 minuten) anders te kort is. Het was uiteraard de bedoeling dat de opstelling volledig door de leerlingen zelf opgebouwd werd. Om organisatorische redenen is dat niet altijd even konsekwent op alle scholen gebeurd. De tijd noodzakelijk voor de uitvoering van de proef bleek met het volledig opbouwen erbij vaak te kort. Ook de ge-

plande tijd voor de uitwerking van het experiment bleek te kort met name omdat het tekenen van een grafiek leerlingen altijd meer tijd kost dan men verwacht.

Bij gebruik van een buret leest men direkt het volume ( $V$ ) van het water af dat weggestroomd is. Gebruikt men een willekeurige cilindervormige glazen buis dan kan men de hoogte  $h$  als funktie van de tijd opnemen. Voor de stroomsterkte  $I$  geldt dan  $I = \frac{dV}{dt} = A \frac{dh}{dt}$ , waarin  $A$  de oppervlakte van doorsnede van de buis is. De  $h$ - $t$  grafiek heeft op het eerste gezicht de vorm van een radioactief-vervalkromme.

Als opvangbak fungeerde in het algemeen een niet te diepe (ca. 5 cm) rechthoekige plastiek bak van ca. 30 bij 40 cm. Leerlingen moesten zelf maar uitmaken hoe ze de plaats markeerden om daarna  $x$  en  $y$  op te meten bij stand  $V_1$  van het water. Sommigen deden dat door een dubbeltje op die plaats neer te leggen.

### *Praktikumproef 2: een potentiometerschakeling*

De leerlingen kregen twee bladen tegelijk zowel de bladzijde met de praktische opdrachten als de bladzijde met de uitwerking (appendix II-3 en II-4). De bladzijde met de krommen I, II en III (appendix II-5) kregen zij pas na inlevering van de meetresultaten (opdrachten 3 en 4) en de door henzelf getekende grafiek (opdracht 5). De proef is ontwikkeld naar aanleiding van een artikel van Seufert [107]. Hij wordt ook beschreven in Faraday [126].

De twee identieke weerstandsdraden op een plank gespannen tussen A en B respectievelijk C en D waren elk ca. 70 cm lang; de weerstand van elk was  $13,5\Omega$ . A, B, C en D waren stekkerbussen. Bovendien was een schuif ( $S_1 - S_2$ ) beschikbaar met twee stekkerbussen. Met deze schuif was het mogelijk op gelijke hoogte tussen A en B en tussen C en D elektrisch contact te maken.

Het aflezen van  $V_1$  en  $V_2$  als funktie van de afstand  $x$  leverde een te grote afleesonauwkeurigheid in het spanningsverschil  $V_1 - V_2$ . Daarom is gekozen voor de schakeling van figuur 2 (appendix II-3) waarin direkt de spanning  $V_3 = V_1 - V_2$  afgelezen kan worden. Als voltmeter werden praktikumvoltmeters gebruikt met een schaalbereik van 5 of 6 volt. De relatieve afleesonauwkeurigheid in het spanningsverschil gemeten met voltmeter  $V_3$  was daardoor toch nog groot. De meetonauwkeurigheid werd bovendien vergroot door de zeker niet ideale kontaktpunten  $S_1$  en  $S_2$ . De leerlingen moesten dus zeer zorgvuldig werken om bruikbare meetresultaten te verkrijgen. Bij het tekenen van het spanningsverschil gemeten met  $V_3$  als funktie van de afstand  $x$  moest terdege rekening gehouden worden met de onauwkeurigheid in de waarnemingen. Om de leerlingen niet te duperen voor de rest van de toets door een slecht of verkeerd getekend grafiek werd een 'goede' grafiek verstrekt waarin tevens het verband met weerstand  $R_2 = 20\Omega$  tussen de klemmen E en F getekend was (appendix II-5). De leerlingen hoefden  $V_3$  als funktie van  $x$  voor dit laatste geval niet op te nemen en te tekenen omdat dit derde geval slechts herhaling zou betekenen.



## Analyse van praktikumproef 1

Beide praktikumproeven zijn door ons opnieuw nagekeken. Alleen in het geval van beoordeling van praktische vaardigheden moesten wij de punten toegekend door de docent overnemen wanneer er verder op geen enkele manier aanwijzingen waren. Een overzicht van de resultaten van de proef 'stroming van water' is weergegeven in tabel 14. In de tabel zijn naast gemiddelde skores en standaarddeviaties ook een aantal korrelatiekoefficienten gegeven.

Tabel 14: Statistische verwerking praktikumproef 1.  
(N = 96)

onderdeel	max. skore	gem. skore	stand. dev.	korr. SO	korr. CSE	korr. S	korr. SO	korr. CSE
S <sub>1</sub>	1	0,396	0,492	0,08	0,17	0,29		
S <sub>2</sub>	3	1,490	1,142	0,07	0,09	0,41	0,31	0,29
S <sub>3</sub>	1	0,427	0,497	0,08	-0,05	0,22		
S <sub>4</sub>	2	0,625	0,743	0,47	0,43	0,34		
S <sub>5</sub>	4	3,906	0,412	—	—	—		
S <sub>6a</sub>	3	2,104	1,183	0,14	0,14	0,28		
S <sub>6b</sub>	3	2,500	0,846	0,17	-0,14	0,17	0,07	0,02
S <sub>7</sub>	2	1,250	0,754					
S <sub>8a</sub>	3	2,396	0,978	0,04	0,01	0,51		
S <sub>8b</sub>	1	0,448	0,500					
S <sub>9</sub>	3	0,792	0,893	0,21	0,29	0,33		
S <sub>10a</sub>	6	4,781	0,965	0,01	0,07	0,29		
S <sub>10b</sub>	3	2,031	0,640	0,04	0,03	0,14	0,40	0,32
S <sub>11</sub>	2	1,094	0,834	0,10	-0,01	0,32		
S <sub>12</sub>	3	2,125	0,976	0,27	0,26	0,52		
S <sub>13</sub>	2	0,875	0,757	0,36	0,26	0,38		
S <sub>14</sub>	3	1,344	1,195	0,28	0,13	0,45		

Op de onderdelen 1 t/m 4 (voorbereiding van het experiment) is de gemiddelde relatieve score 0,42. Op de onderdelen 5 t/m 8 (uitvoering van het experiment) vinden we 0,79 en op onderdelen 9 t/m 14 (bewerking van de waarnemingen) 0,59. De gemiddelde score op praktikumproef 1 is volgens onze beoordeling 28,6 punten hetgeen overeenkomt met cijfer 6,7. Op onderdeel S9 is relatief het slechtst geskoord. Slechts enkele leerlingen hebben het volledig goede antwoord gegeven. Onderdeel S5 is het best gemaakt. Nogal wat leerlingen hebben voor dat onderdeel automatisch 4 punten gekregen omdat de opstelling niet altijd opgebouwd hoefde te worden. De gemiddelde scores op de overige onderdelen vertonen een redelijk betrouwbaar beeld evenals de bijbehorende standaarddeviaties. De korrelatiecoëfficiënten tussen de onderdelen enerzijds en de SO- en CSE-cijfers anderzijds variëren van significant positief tot waarden in de buurt van nul. De korrelatiecoëfficiënten van de onderdelen met de SO-cijfers zijn meestal groter dan die met de CSE-cijfers, een verschijnsel dat al eerder besproken is. De korrelatiecoëfficiënten van de onderdelen met de toets als geheel zijn meestal significant positief hetgeen wijst op een homogeen opgebouwde toets. Bekijken we de korrelatie van de SO- en CSE-cijfers met de totale scores op de onderdelen die respectievelijk betrekking hebben op voorbereiding, uitvoering en uitwerking van het experiment dan blijkt de korrelatiecoëfficiënt niet significant te zijn in het geval van uitvoering van het experiment. M.a.w. de cijfers voor SO en CSE hebben geen of weinig voorspellende waarde voor de wijze van uitvoering van het experiment door de leerlingen. Het lijkt er dus op dat dit gedeelte van de praktikumtoets iets anders toetst dan een schriftelijke (kognitieve) toets. Voor de voorbereiding van het experiment en de uitwerking van het experiment is geen apparatuur nodig. De vaardigheden die hiermee samenhangen kunnen dus ook schriftelijk getoetst worden (en dat gebeurt vaak). Signifikant positieve korrelatie tussen voorbereiding van het experiment respectievelijk uitwerking van het experiment met SO en CSE was dus te verwachten.

## **Analyse van praktikumproef 2**

Een overzicht van de resultaten van de proef 'een potentiometerschakeling' is weergegeven in tabel 15.

Hoewel 154 leerlingen deze toets volledig gemaakt hebben is de tabel gebaseerd op de 96 leerlingen die ook praktikumproef 1 volledig gemaakt hebben. Op alle onderdelen P1 t/m P4 is gemiddeld voldoende geskoord. De gemiddelde relatieve score op 'uitvoering van het experiment' bedraagt 0,74. De gemiddelde relatieve score op de onderdelen P5 t/m P8 (bewerking van de waarnemingen) bedraagt 0,58. De gemiddelde scores op 'uitvoering' en 'bewerking' vertonen hetzelfde beeld als de scores op de overeenkomstige vaardigheden bij praktikumproef 1. De gemiddelde score op onderdeel P9 is zeer laag: 60% van de leerlingen behaalde op dit onderdeel

Tabel 15: Statistische verwerking praktikumproef 2.  
(N = 96)

onderdeel	max. score	gem. score	stand. dev.	korr. SO	korr. CSE	korr. P	korr. SO	korr. CSE
P <sub>1</sub>	2	1,542	0,807	0,24	0,28	0,29	0,18	0,28
P <sub>2</sub>	5	3,615	1,959	0,27	0,21	0,50		
P <sub>3a</sub>	2	1,771	0,492	0,14	0,16	0,29		
P <sub>3b</sub>	3	2,385	0,838	0,09	0,17	0,46		
P <sub>3c</sub>	3	2,708	0,560					
P <sub>4a</sub>	2	1,500	0,821					
P <sub>4b</sub>	3	1,719	1,295	0,06	0,09	0,62		
P <sub>4c</sub>	3	1,854	1,281					
P <sub>5a</sub>	3	2,313	0,670	0,15	0,04	0,25		
P <sub>5b</sub>	6	3,729	1,341	0,21	0,17	0,30		
P <sub>6</sub>	2	1,500	0,858	0,16	0,11	0,41		
P <sub>7</sub>	3	1,135	1,072	0,17	0,12	0,53		
P <sub>8</sub>	3	1,115	1,272	0,08	0,05	0,38		
P <sub>9</sub>	5	0,760	1,023	0,36	0,32	0,39	0,36	0,32

nul punten. Vaak is men door tijdgebrek niet aan dit onderdeel toegekomen. Bovendien blijkt de konklusie zeer moeilijk te formuleren want geen enkele leerling behaalt de volledige 5 punten. De korrelatiekoefficiënt van dit onderdeel met SO en CSE is het grootst van alle onderdelen. Hieruit kan gekonkludeerd worden dat slechts de beste leerlingen er nog iets van gemaakt hebben. Ook hier zijn de korrelatiekoefficiënten tussen de onderdelen enerzijds en SO en CSE anderzijds slechts in enkele gevallen significant positief terwijl de korrelatiekoefficiënten van de onderdelen met de toets als geheel meestal significant positief zijn. Bij de proef 'een potentiometer-schakeling' zijn de korrelatiekoefficiënten van de totale scores op de onderdelen die betrekking hebben op 'uitvoering' met de SO- en CSE-cijfers niet zo opvallend klein als bij de proef 'stroming van water'. De gemiddelde score op praktikumproef 2, door ons nagekeken, was 27,5 van de 45 punten hetgeen overeenkomt met cijfer 6,5.

Praktikumproeven 1 en 2 zijn dus beide zeer bevredigend gemaakt ook wanneer we vergelijken met de gemiddelde SO- en CSE-cijfers (beide 6,5). Enkele koefficiënten zijn nog gegeven in tabel 16.

Tabel 16: Enkele korrelatiecoëfficiënten

	SO	S + P	S	P
CSE	0,70	0,41	0,32	0,34
SO		0,44	0,40	0,33
S + P			0,76	0,87
S				0,33

Alle in de tabel vermelde korrelatiecoëfficiënten zijn significant positief. Zoals eerder is opgemerkt is de korrelatiecoëfficiënt tussen de SO-cijfers en de CSE-cijfers ook hier groot. De goede overeenstemming tussen SO en CSE is te verwachten gezien het feit 'het veld tevreden was over de moeilijkheidsgraad van het vwo-examen 1980' [131].

### Kanonieke korrelatierekening met de twee praktikumproeven

Voor kanonieke korrelatierekening is vooraf een aantal groepen variabelen vastgesteld en wel

- SO- en CSE-cijfers,
- totaal scores op 'uitvoering van het experiment' van S en P: S5-8 en P1-4,
- totaal scores op 'uitwerking van het experiment' van S en P: S9-14 en P5-8,
- scores op de onderdelen 'voorbereiding van het experiment': S1, S2, S3 en S4,
- scores op de onderdelen 'meten': S6ab, S78ab, P3abc en P4abc,
- scores op de onderdelen 'grafiek tekenen': S10a, S10b, P5a en P5b,
- scores op de onderdelen 'berekeningen naar aanleiding van het experiment': S11, S12, S13 en P6,
- scores op de onderdelen 'verklaringen naar aanleiding van het experiment': S9, S14, P7 en P8.

Een overzicht van de resultaten van kanonieke korrelatieberekening is weergegeven in tabel 17. De tabel is op dezelfde wijze opgebouwd als tabel 10.

De SO- en CSE-cijfers geven in principe aan wat leerlingen aan 'fysische bagage' bezitten. De cijfers voor SO en CSE zijn voornamelijk respectievelijk geheel tot stand gekomen via schriftelijke toetsing. Bekijken we nu de verschillende vaardigheden behorend bij praktisch werk dan zijn zowel de 'voorbereiding van het experiment' als ook 'de uitwerking en verantwoording' schriftelijk toetsbaar. Dit is niet het geval voor de uitvoering van het experiment. We zien dan ook in tabel 17 dat er vrijwel steeds significante

Tabel 17: Kanonieke korrelatiecoëfficiënten met overschrijdingskansen

	SO/CSE	uitvoering van experiment	uitwerking van experiment	onderdelen voorbereiden	onderdelen meten	onderdelen grafiek tekenen	onderdelen berekenen
uitvoering van experiment	0,28 — 0,089	—					
uitwerking van experiment	0,44 + 0,000	0,30 — 0,061	—				
onderdelen voorbereiden	0,50 + 0,000	0,18 — 0,829	0,40 + 0,005	—			
onderdelen meten	0,23 — 0,506	0,98 + 0,000 0,87 + 0,000	0,31 — 0,239	0,33 — 0,509	—		
onderdelen grafiek tekenen	0,25 — 0,431	0,15 — 0,921	0,60 + 0,000 0,49 + 0,000	0,31 — 0,555	0,40 — 0,266	—	
onderdelen berekenen	0,41 + 0,013	0,32 — 0,204	0,71 + 0,000 0,53 + 0,000	0,37 — 0,079	0,37 — 0,168	0,36 — 0,210	—
onderdelen verklaren	0,37 + 0,013	0,32 — 0,222	0,76 + 0,000 0,64 + 0,000	0,40 — 0,062	0,24 — 0,842	0,26 — 0,710	0,32 — 0,719

kanonieke korrelatie is tussen de SO/CSE-cijfers en de scores op vaardigheden betrekking hebbend op 'uitwerking van het experiment'. Over de enige uitzondering op deze regel in tabel 17, het grafiek tekenen, kan het volgende opgemerkt worden:

1. Het tekenen van een volledige grafiek (assenstelsel tekenen + meetpunten aanbrengen + kurve tekenen) kost zoveel tijd dat het (vrijwel) nooit in een schriftelijke toets gevraagd wordt. Altijd wordt het assenstelsel met vaak ook een aantal getekende meetpunten of een gedeelte van de kurve gegeven.

2. Wanneer bij een schriftelijke toets iets van het 'grafiek tekenen' aan de orde is dan zijn de meetpunten foutloos of eventueel met slechts geringe meetfout gegeven. De leerling hoeft niet in onzekerheid te verkeren over de waarden van de gegeven meetpunten. Bij de twee toetsen was met name in praktikumproef 2 de meetonnauwkeurigheid groot. Bovendien moesten de leerlingen bij beide proeven hun grafiek tekenen aan de hand van zelf verkregen meetresultaten (met de onzekerheid over hun resultaten).

Bij de significante kanonieke korrelaties met SO/CSE-cijfers is de weegfactor van de SO-cijfers steeds het grootst. Hierover zijn al eerder opmerkingen gemaakt.

Bekijken we de kanonieke korrelatie met betrekking tot 'uitvoering van het experiment' (tabel 17) dan blijkt er alleen significante korrelatie met de onderdelen meten. Deze significante korrelatie is ook te verwachten omdat het meten een belangrijk onderdeel is van de 'uitvoering van het experiment'.

Er zijn zelfs twee grote significante korrelatiecoëfficiënten. Bij de waarde 0,98 zijn de weegfactoren van S78ab en S6ab enerzijds en S5-8 anderzijds groot. Bij coëfficiënt 0,87 zijn de weegfactoren van P4abc en P1-4 groot. Er is dus een duidelijke koppeling tussen de onderdelen van dezelfde proef. Bekijken we vervolgens de kanonieke korrelatie met betrekking tot 'uitwerking van het experiment' dan is er geen significante korrelatie met de onderdelen meten maar wel met de onderdelen 'voorbereiden' en de onderdelen 'grafiek tekenen, berekenen en verklaren'.

Van deze laatste drie groepen onderdelen zijn zoals verwacht kan worden steeds twee kanonieke korrelatiecoëfficiënten significant.

Gezien de weegfactoren is er meestal een koppeling tussen de onderdelen van dezelfde proef. Significante kanonieke korrelatie tussen 'uitwerking van het experiment' en de onderdelen 'voorbereiden' is niet verwonderlijk omdat beide een beroep doen op het fysisch inzicht van een leerling in een experimenteel fysische situatie. In beide gevallen kan dit in principe ook schriftelijk getoetst worden. Bij de onderdelen voorbereiden wordt o.a. vooraf gevraagd wat de leerling verwacht van het experiment, welke formules hij moet gebruiken. Bij de uitwerking worden verklaringen en berekeningen met formules naar aanleiding van het experiment gevraagd.

Tussen de onderdelen 'meten, grafiek tekenen, berekenen en verklaren' onderling is geen significante korrelatie. Het lijkt erop dat vaardigheden die samenhangen met meten, grafiek tekenen, berekenen en verklaren als te onderscheiden vaardigheden beschouwd kunnen worden.

### **'Principal factor' analyse met de twee praktikumproeven**

Bij de analyse van de twee praktikumtoetsen is gebruik gemaakt van het faktor analyseprogramma van SPSS. Steeds zijn ook twee orthogonale rotatiemethoden toegepast, varimax en quartimax. Als variabelen fungeren

de scores op onderdelen en of groepen onderdelen van de twee toetsen en de cijfers voor SO en CSE. Een overzicht van de analyses die uitgevoerd zijn staat in tabel 18 (voor de indeling van de tabel: zie tabel 12).

Met betrekking tot de keuze van variabelen kan opgemerkt worden dat sommige onderdelen samengenomen zijn op fysisch inhoudelijke gronden. Andere onderdelen zijn weggelaten omdat ze niet diskrimineren of omdat de beoordeling van die onderdelen door de docent niet uniform was. Bij de keuze van nieuwe variabelen is vaak gebruik gemaakt van resultaten van eerdere analyses. Bij elke analyse zijn als variabelen onderdelen of groepen onderdelen gekozen uit praktijkproef 1 (S) en uit praktijkproef 2 (P) afwisselend met en zonder de SO- en CSE-cijfers. De factoren bij de analyses 1 t/m 12 zijn voorzover mogelijk geïnterpreteerd.

Tabel 18: 'Principal factor' analyses met twee praktijktoetsen (vgl. tabel 12)

N	m	p	% l	% p	variabelen
1	17	7	16,9	61,9	S12,34,6ab,78ab,9,10a,10b,11,12,13,14 P2,34abc,5a,5b,78, SO,CSE
2	15	7	14,0	63,7	idem zonder SO en CSE
3	11	4	23,9	55,7	S1-4,6-8,9,10ab,11-14, P2,34abc,5ab,78, SO, CSE
4	9	4	20,4	58,0	idem zonder SO en CSE
5	13	5	20,1	57,8	S1-4,6ab,78ab,9,10ab,11,12,13, P2,34abc,5ab,78, SO, CSE
6	11	5	16,6	59,6	idem zonder SO en CSE
7	11	6	19,6	74,4	S6ab,78ab,10a,10b, P2,3abc,4abc,5a,5b, SO, CSE
8	9	5	18,8	70,9	idem zonder SO en CSE
9	12	6	20,3	69,3	S1-4,6ab,78ab,10a,10b,11-14, P34abc,5a,5b,6-8, SO, CSE
10	10	4	17,6	54,3	idem zonder SO en CSE
11	9	3	26,6	53,7	S1-4, 6-8, 10ab, 11-14, P34abc, 5ab, 6-8, SO, CSE
12	7	3	23,5	56,1	idem zonder SO en CSE

Het blijkt dat een aantal factoren bij de verschillende analyses steeds terugkomt. We onderscheiden de volgende drie factoren:

- faktor algemeen (theoretisch) fysische kennis, inzicht en vaardigheden,
- faktor grafieken tekenen,
- faktor uitvoering experiment.

Deze drie factoren komen ondanks de variatie van variabelen steeds terug. Doorgaans geven varimax en quartimax rotatie hetzelfde beeld. Dit betekent dat ook hier de gevonden factoren niet door toepassen van één bepaalde rotatie naar voren komen. We bekijken de drie factoren nader.

#### 1. algemeen (theoretisch) fysische kennis, inzicht en vaardigheden

Deze faktor is vrijwel steeds de eerste faktor zonder rotatie maar ook na varimax of quartimax rotatie. Wanneer bij de analyse de SO- en CSE-cijfers als variabelen meedoen zijn de faktorladingen van deze variabelen op de faktor groot. SO en CSE zijn sterk bepalend met betrekking tot de interpretatie want de cijfers voor SO en CSE geven het nivo van leerlingen aan met betrekking tot kennis, inzicht en vaardigheden in de totale natuurkundestof van het eindexamenprogramma. Deze kennis, inzicht en vaardigheden worden voornamelijk schriftelijk getoetst en kunnen dus 'theoretische' genoemd worden. In tabel 18 staan analyses met en zonder de SO- en CSE-cijfers. We zien dat het percentage van de variantie verklaard door de eerste faktor bij een analyse met SO en CSE steeds groter is dan het percentage verklaard door de eerste faktor bij de bijbehorende analyse zonder SO en CSE. De volgende variabelen skoren hoog op de faktor 'algemeen (theoretisch) fysische kennis en inzicht:

- SO en CSE.

Dit is in het voorafgaande beschreven.

- S1-4 en S34.

Als voorbereiding op het experiment wordt inzicht gevraagd in het verloop van het experiment. Er moeten enkele verbanden geformuleerd worden.

- S9, S11-14 en S1213/P6-8 en P78.

Bij de uitwerking van het experiment wordt gevraagd naar berekeningen en verklaringen. Formules moeten toegepast kunnen worden.

Bij de verschillende analyses en ook na varimax of quartimax rotatie zijn er vaak aksentverschuivingen in de grootte van de faktorladingen van de variabelen. Varimax en quartimax rotatie leveren steeds vrijwel hetzelfde resultaat. Slechts het onderscheid tussen de factoren wordt duidelijker.

#### 2. grafieken tekenen

Ook de faktor te interpreteren als grafieken tekenen komt bij alle analyses steeds terug meestal als tweede of derde faktor, in enkele gevallen zelfs als eerste faktor (analyses 2 en 8). De faktor grafieken tekenen wordt gekenmerkt door hoge scores van de variabelen S10ab en P5ab. Wanneer de onderdelen S10a, S10b, P5a en P5b als vier aparte variabelen opgevoerd worden dan blijken steeds S10a en P5a en ook S10b en P5b gezien de faktorladingen te combineren. Er kan dus onderscheid gemaakt worden in het opzetten van een grafiek (schaal kiezen, eenheden en grootheden aangeven,



getallen langs de assen) en het zoeken van het verband (meetpunten aangeven met meetonauwkeurigheid en kurve tekenen). Wanneer de a en b onderdelen van S10 en P5 apart meedoen vinden we dus twee factoren grafieken tekenen.

### 3. uitvoering experiment (meten)

De onderdelen die betrekking hebben op uitvoering van het experiment zijn S5 t/m S8 en P1 t/m P4. Enkele onderdelen hiervan zijn weer gesplitst in a en b en soms ook c. Bij de keuze van variabelen voor het analyseprogramma zijn de a, b en c onderdelen steeds samengenomen omdat beoordeling van de afzonderlijke vaardigheden niet altijd konsekvent mogelijk was. Ook vanwege moeilijke onderlinge beoordeelbaarheid zijn de onderdelen S7 en S8 van begin af aan samengenomen. De onderdelen S5 en P1 zijn geheel weggelaten omdat in een aantal gevallen de opstelling van de proef stroming van water klaarstond respectievelijk het voedingskastje ingesteld stond op 4,0V waarbij de handeling van de leerling niet beoordeeld werd. De faktor te interpreteren als uitvoering experiment komt bij alle analyses terug, meestal als derde of vierde faktor. Bij de faktor uitvoering experiment zijn er nogal wat nuanceverschillen. Vaak komt gezien de faktorladingen de combinatie S6-8 en P34abc voor. De praktische opdrachten S6 t/m S8 en ook P3 en P4 hebben alle betrekking op het verkrijgen van meetresultaten. We kunnen de faktor, door deze variabelen bepaald, de faktor uitvoering experiment of nauwkeuriger omschreven de faktor meten noemen.

### Ervaringen met de praktikumproeven en konklusies

Leerlingen bleken voor de praktikumtoetsen vaak meer gespannen te zijn dan voor schriftelijke toetsen. Hiervoor zijn twee oorzaken aan te wijzen:

1. leerlingen zijn schriftelijke toetsen gewend terwijl zij (nog) geen of onvoldoende ervaring opgedaan hadden met praktische toetsen,
2. leerlingen werken bij praktikum, de oefensituatie voor een praktische toets, in het algemeen samen. Dit betekent een taakverdeling tussen de leerlingen onderling waarbij de individuele leerling van nature het minst oefent op z'n zwakste praktische vaardigheden.

Desondanks hebben de leerlingen beide toetsen bevredigend gemaakt, wanneer we vergelijken met de SO- en CSE-resultaten. Slechts een klein aantal onderdelen bleek niet goed te voldoen.

De methode van praktisch toetsen zoals in dit hoofdstuk beschreven is heeft de docenten duidelijk zwaarder belast dan toetsing door middel van een demonstratieproef. De praktische vaardigheden bleken voor de docent moeilijker beoordeelbaar dan verwacht. De groepen leerlingen (6-8) waren te groot voor één beoordelaar en de docenten werden te vaak afgeleid door organisatorische problemen. Bovendien vonden de leraren dat bij het praktikum schoolonderzoek de nadruk moest liggen op de uitvoering van het experiment. Voorbereiding van het experiment en bewerking van de meet-

resultaten kunnen ook schriftelijk getoetst worden. Dit blijkt overigens ook uit de analyses, waar drie typen vaardigheden onderscheiden kunnen worden.

- Schriftelijk toetsbare vaardigheden: vaardigheden samenhangend met voorbereiding van het experiment en bewerking van de waarnemingen.
- Vaardigheden samenhangend met het tekenen van grafieken volgend op het verzamelen van meetresultaten.
- Praktikumvaardigheden: vaardigheden behorend bij uitvoering van een experiment.

Vergelijking van de resultaten van 'principal factor' analyse met de resultaten van kanonieke korrelatierekening levert goede overeenstemming. Ook bij kanonieke korrelatierekening vonden we significante korrelatie tussen de groepen SO/CSE, voorbereiding van het experiment en uitwerking van het experiment onderling. Dit levert de faktor algemeen (theoretisch) fysieke kennis en inzicht. Daarnaast onderscheiden zich de uitvoering van het experiment speciaal de onderdelen meten, en ook de onderdelen grafieken tekenen. De faktor grafieken tekenen heeft een relatie met de uitvoering van het experiment maar ook met de uitwerking. Men kan de faktor nog splitsen in een faktor 'een grafiek opzetten' en een faktor 'het verband grafisch weergeven'.

## Hoofdstuk 9

### PRAKTIKUMTOETSEN VOOR HAVO EN VWO

*Das hat die Welt nicht oft gesehn.  
Dass Lehrer selbst ans Lernen Gehn.*

*Bertolt Brecht*

Vanwege de geslaagde opzet met de praktikumtoetsen voor vwo gedurende de cursus 1979/1980 is besloten het experiment in iets gewijzigde vorm voor havo en vwo te herhalen in de cursus 1980/1981. Men zag het praktisch schoolonderzoek het liefst gekoncentreerd op toetsing van vaardigheden met betrekking tot de uitvoering van het experiment omdat praktikumvaardigheden met betrekking tot voorbereiding van het experiment, bewerking van de meetresultaten en verantwoording van het experiment in principe ook schriftelijk getoetst kunnen worden. Anderzijds is de uitvoering van een experiment zonder uitwerking onbevredigend. Om bovendien beoordeling van praktikumvaardigheden gedurende de uitvoering van het experiment goed te laten verlopen is gekozen voor een opzet waarbij leerlingen individueel achtereenvolgens vier korte proeven doen. De praktische vaardigheden bij de uitvoering van twee van de vier proeven werden tijdens de uitvoering beoordeeld door één docent. De groepen moesten daarom ook kleiner zijn dan in de afgelopen cursus. De andere twee proeven waren zodanig ingericht dat de praktische vaardigheden met betrekking tot de uitvoering aan de hand van de verslaggeving door de leerling beoordeelbaar waren. In de loop van de cursus 1980/1981 zijn zowel voor havo als voor vwo vier korte proeven ontwikkeld, elk bestemd voor ca. 15 minuten experimenteren. Na de vier experimenten uitgevoerd te hebben moesten de leerlingen de experimenten uitwerken gedurende één uur.

Het volgende organisatieschema kon op de school gehanteerd worden.

- 8.30 uur groep 1 begint met proef A
- 8.45 uur groep 1 begint met proef B, groep 2 met A
- 9.00 uur groep 1 begint met proef C, ...
- 9.15 uur groep 1 begint met proef D, ...
- 9.30 uur groep 1 begint met uitwerken, ...
- 10.30 uur groep 1 is klaar, groep 9 begint met A.

Wanneer gewerkt wordt met groepen van vier leerlingen kunnen 36 leerlingen volgens bovenstaand schema zonder contact en zonder wachttijden individueel getoetst worden. Alle leerlingen doen op deze wijze de proeven in dezelfde volgorde. De leerlingen hebben de proeven gemaakt in april 1981. Speciale voorbereiding voor het praktisch schoolonderzoek door de leerlingen was niet nodig. Vooraf kregen zij een lijstje met tips (voor vwo appendix III-1, voor havo appendix III-12), verder mochten zij eigen boeken en schriften gebruiken. Omdat zowel voor havo als voor vwo de proe-

ven omvangrijker bleken dan verwacht in verband met de beschikbare tijd, hebben de kandidaten op sommige scholen wat meer tijd gekregen voor uitvoering en uitwerking terwijl de leerlingen op andere scholen minder proeven deden. Organisatorisch was het niet altijd mogelijk te werken met groepen van vier leerlingen. Daarom moest gewerkt worden met grotere groepen waardoor het beoordelen tijdens de uitvoering ook nu evenals in de vorige cursus in veel gevallen nog problemen gaf. Nadat de havo- en vwo-leerlingen op de verschillende scholen de toetsen gemaakt hadden, hebben zij een cijfer voor het praktikum schoolonderzoek gekregen van hun docent. Vervolgens zijn de werken van de kandidaten door ons opnieuw nagekeken. Bij het toekennen van punten op onderdelen die beoordeeld zijn tijdens de uitvoering van de proeven moesten wij uiteraard afgaan op de aantekeningen van en de beoordeling door de docent.

### De vier proeven voor vwo

De vier ontwikkelde proeven voor vwo zijn te vinden in appendix III.

- A. Een slinger slingert in lucht en in water (appendix III-2 en III-3).
- B. Veerenergie (appendix III-4 en III-5).
- C. De verzadigingsdruk van water (appendix III-6 en III-7).
- D. Stroomspoel als regelbare magneet (appendix III-8 en III-9).

De leraren is geadviseerd meetseries klaar te hebben liggen voor het geval de leerlingen niet voldoende metingen verzameld hebben. Aan de leraren is ook een lijst verstrekt met een voorgestelde normering (appendix III-10). Bovendien is een lijst gemaakt met observatiepunten voor de twee proeven C en D waarvan de uitvoering direkt, dus tijdens het experimenteren, beoordeeld moest worden (appendix III-11).

Aan het praktische schoolonderzoek voor het vwo is door 231 eindexamenkandidaten van 5 scholen uit het samenwerkingsverband deelgenomen. De vier proeven zijn volledig gemaakt door 133 leerlingen, de overige 98 leerlingen hebben slechts twee van de vier proeven gedaan.

Hier volgen nog enkele opmerkingen met betrekking tot de vier proeven.

#### *Proef A*

De slinger, bestaande uit een metalen kogel opgehangen aan een touwtje kon bij slingeren in lucht in eerste instantie beschouwd worden als een mathematische slinger met slingertijd  $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ . De slingertijd in een medium blijkt bij nader zien ook af te hangen van de viskositeit van het medium [3] en de verhouding van de dichtheid van het medium en van de kogel. De afhankelijkheid van de eerstgenoemde grootte blijkt in ons geval gering en verwaarloosbaar. De afhankelijkheid van de dichtheden kan eenvoudig afgeleid worden wanneer de afleiding van de formule voor de mathematische slinger bekend is. Vwo-leerlingen moeten de formule voor de slingertijd met de kogel in water kunnen vinden zoals deze gegeven is in de uitwerking. De bepaling van de slingertijd met de kogel in water wordt bemoei-

lijkt doordat de demping in water groot is.

#### *Proef B*

Ook het verkrijgen van goede meetresultaten bij de proef 'veerenergie' vereist zorgvuldig werken van de leerlingen. Opdracht 3 is een open opdracht om de veerconstante te bepalen. Bij de uitwerking van de proef zijn veel mogelijkheden om vragen te stellen.

#### *Proef C*

Het idee voor deze proef is ontleend aan een artikel in Faraday [110] waarin beschreven werd hoe de dampspanningskromme van spiritus opgenomen kan worden. Wij vonden de licht ontvlambare stof spiritus niet gelukkig gekozen om boven een brander tot koken te brengen. De proef met water vereist zorgvuldig werken om bruikbare meetresultaten te krijgen. Er moeten veel handelingen verricht worden en de veiligheid moet in acht genomen worden. Daarom is de proef geschikt voor beoordeling tijdens de uitvoering.

#### *Proef D*

Ook bij deze proef moeten nogal wat handelingen verricht worden zodat ook deze proef geschikt is voor beoordeling tijdens de uitvoering.

### **De vier proeven voor havo**

De volgende vier proeven zijn voor havo ontwikkeld:

HA. Elektriciteit opwekken (appendix III-13 en III-14)

HB. Lens en LDR (appendix III-15 en III-16)

HC. Lampkalorimetrie (appendix III-17 en III-18)

HD. Maak zelf een gelijkrichtcel (appendix III-19 en III-20)

Ook voor havo is aan de leraren een lijst verstrekt met voorgestelde normering (appendix III-21) en een lijst met observatiepunten voor de twee proeven HC en HD (appendix III-22). De toetsen zijn op vijf scholen gebruikt waarvan 102 leerlingen de vier toetsen volledig gemaakt hebben.

Dan volgen nu nog enkele opmerkingen met betrekking tot deze vier proeven.

#### *Proef HA*

Grondige kennis van de werking van een fietsdynamo behoort uiteraard niet tot de havo-examenstof. Toch mag men van een havo-eindexamenkandidaat verwachten dat hij enkele konklusies kan trekken uit de experimenten die hem opgedragen worden zoals 'een dynamo draait zwaarder naarmate hij meer stroom moet leveren'.

Niet elke dynamo blijkt zonder meer geschikt te zijn voor dit experiment. Het gewichtje mag bij geringe belasting van de dynamo niet te snel vallen omdat anders tijdmeting met stopwatch niet mogelijk is. Enige aanpassing is mogelijk door de keuze van de diameter van de katrol.

#### *Proef HB*

Bij deze geometrische optika proef is verduistering van het lokaal niet no-

dig. De verlichtingssterkte op de plaats van de LDR ten gevolge van de omgeving is namelijk konstant en klein ten opzichte van de verlichtingssterkte ten gevolge van de bundel. De grootte verlichtingssterkte is de leerlingen niet bekend. Daarom wordt in de teksten van de proef gesproken over hoeveelheid licht en intensiteit, hetgeen de leerlingen gevoelsmatig voldoende duidelijk moet zijn. Er wordt niet ingegaan op het feit dat de weerstand van LDR niet omgekeerd evenredig is met de verlichtingssterkte. Er wordt slechts kwalitatief een vraag gesteld met betrekking tot de kwadratenwet (vraag 6).

#### *Proef HC*

Het is verrassend om de peer van een elektrische gloeilamp onder te dompelen in een calorimeter met water. Wanneer de calorimeter lichtdicht afgesloten is wordt binnen de calorimeter alle elektrische energie omgezet in warmte. Op deze manier is dan het opgegeven vermogen te controleren. Bij deze proef spelen uiteraard veiligheidsaspecten een belangrijke rol. Daarom is toezicht bij de uitvoering van het experiment noodzakelijk. De proef was o.a. daardoor erg geschikt voor het beoordelen van vaardigheden die betrekking hebben op de uitvoering.

#### *Proef HD*

Bij de proef moeten nogal wat handelingen verricht worden hetgeen hem geschikt maakt voor beoordeling tijdens de uitvoering. Nauwkeurig volgens de handleiding werken bleek erg belangrijk. Daarom was het gewenst dat een reservemeetserie beschikbaar was voor de leerlingen die vastliepen in de uitvoering. De proef vereiste zorgvuldige voorbereiding op de school.

### **Analyse van de vwo-toetsen**

De vier toetsen zijn door ons opnieuw nagekeken. De toetsen A en B zijn gemaakt door 170 vwo-leerlingen, de toetsen C en D door 190 leerlingen. Een overzicht van het resultaat is weergegeven in tabel 19.

In deze tabel zijn van de onderdelen naast gemiddelde scores en standaarddeviaties ook de korrelatiecoëfficiënten gegeven met het praktikum schoolonderzoek (Pr. SO), SO en CSE.

Op de onderdelen die betrekking hebben op de uitvoering van de proeven is in het algemeen hoger geskoord dan op de onderdelen betreffende de uitwerking van de proeven. Op de eerste groep onderdelen is de gemiddelde relatieve score 0,7, op de tweede groep 0,4. De laatste twee onderdelen van de uitwerking van de proeven zijn meestal zeer slecht gemaakt. Dit zijn de moeilijkste vragen. Ook het laatste onderdeel van de uitvoering van opgaven A en D is slecht gemaakt. Dit is vaak te wijten aan tijdgebrek. Veel leerlingen zijn aan deze onderdelen niet toegekomen. Het skoreverloop op de onderdelen van de toetsen wijst op een redelijk goede opbouw: in het begin van de toets gemakkelijke opdrachten, aan het eind van de toets zijn de opdrachten het moeilijkst. Ook het verloop van de standaarddeviaties is naar verwachting. De korrelatiecoëfficiënten van de onderdelen met de vier

Tabel 19: Statistische verwerking vier praktikumtoetsen vwo  
N = 170 (A, B) en 190 (C, D)

onderdeel	max. score	gem. score	stand. deviatie	korr. Pr. SO	korr. SO	korr. CSE
A 1	4	3,357	0,931	0,39	0,35	0,25
2	2	1,632	0,583	0,38	0,28	0,24
3	1	0,702	0,459	0,25	0,15	0,15
4	3	0,515	1,037	0,25	0,24	0,19
5	3	1,703	0,828	0,22	0,14	0,06
6	2	1,170	0,941	0,24	0,21	0,36
7	4	0,994	1,197	0,44	0,39	0,32
8	3	1,024	1,244	0,14	0,26	0,26
B 2	6	5,006	1,334	0,34	0,17	0,07
3	5	2,929	1,498	0,28	0,20	0,24
4	3	2,296	0,930	0,20	0,28	0,25
5	2	0,923	1,000	0,31	0,29	0,28
6	4	2,041	1,465	0,13	0,10	0,19
7	2	1,136	0,545	0,21	0,15	0,19
8	2	0,172	0,488	0,02	-0,02	0,02
9	3	0,533	0,913	0,17	0,12	0,21
C 1	5	3,768	1,550	0,22	0,18	0,01
2	7	5,532	1,263	0,31	0,27	0,16
3	3	0,995	1,336	0,38	0,32	0,22
4	2	1,335	0,925	0,37	0,32	0,31
5	3	1,016	1,263	0,28	0,31	0,20
6	3	0,194	0,598	0,28	0,27	0,22
7	3	0,838	1,210	0,33	0,28	0,21
D 1	3	2,373	0,794	0,25	0,14	0,10
2	5	3,927	1,148	0,43	0,20	0,17
3	3	1,855	1,075	0,45	0,29	0,22
4	2	0,741	0,600	0,31	0,31	0,21
5	6	3,456	1,465	0,33	0,33	0,32
6	2	0,264	0,538	0,21	0,20	0,18
7	4	1,352	1,182	0,38	0,29	0,10
8	2	1,223	0,900	0,47	0,40	0,30

toetsen als geheel (Pr. SO) zijn in 87% van de gevallen significant positief. De korrelatiecoëfficiënten met de SO- en CSE-cijfers zijn vrijwel steeds positief en in 74% van de gevallen significant positief. Ook hier zijn de korrelatiecoëfficiënten met de SO-cijfers in de meeste gevallen groter dan die met de CSE-cijfers. Hieraan is al eerder aandacht besteed. Op alle toetsen hebben de leerlingen voldoende, meer dan 50%, geskoord. Het gemiddelde cijfer dat de leerlingen voor het praktikum schoolonderzoek gehaald hebben is 6,5. Vergelijken we dit met het gemiddelde SO-cijfer (6,3) en het gemiddelde CSE-cijfer (6,0) dan blijkt dat de leerlingen door dit praktikum schoolonderzoek niet gedupeerd zijn. Ook de korrelatiecoëfficiënten van het praktikum schoolonderzoek met SO en CSE zijn significant positief (respektievelijk 0,68 en 0,52).

## Analyse van de havo-toetsen

Een overzicht van de statistische bewerkingen die uitgevoerd zijn met de scores op de onderdelen van de toetsen door 102 havo eindexamenkandidaten is weergegeven in tabel 20.

Tabel 20: Statistische verwerking van de praktikumtoetsen voor havo  
N = 102

onderdeel	max. score	gem. score	stand. deviatie	korr. Pr. SO	korr. SO	korr. CSE
HA1	1	0,961	0,195	-0,17	0,05	0,07
2a	1	0,971	0,170	0,04	0,02	-0,01
2b	3	0,755	0,814	0,18	0,08	0,12
3	2	1,775	0,465	0,24	0,20	0,09
4a	2	0,833	0,955	0,30	0,12	0,19
4b	2	1,578	0,737	0,40	0,14	0,05
6	3	1,294	0,803	0,21	0,34	0,33
7	4	1,922	1,355	0,21	-0,04	0,12
8	2	0,676	0,810	0,24	0,26	0,29
9	2	0,363	0,672	0,25	0,26	0,29
10	2	0,373	0,716	0,31	0,40	0,47
HB1	3	1,480	1,355	0,31	0,20	0,09
2	2	1,078	0,930	0,41	0,41	0,33
3a	2	1,735	0,562	0,27	-0,02	-0,02
3b	2	0,216	0,574	0,14	0,13	0,02
4	2	1,118	0,904	0,21	0,11	-0,00
5	4	3,196	0,856	0,41	0,17	-0,07
6	2	0,951	0,837	0,24	0,11	0,08
7	3	0,814	1,002	0,02	-0,01	0,13
HC1+2	5	3,784	1,539	0,39	0,18	0,11
3	5	3,480	1,467	0,50	0,14	0,06
4	2	1,216	0,897	0,32	0,02	-0,01
5	5	4,206	0,988	0,30	0,31	0,30
6	2	0,657	0,790	0,50	0,35	0,37
7	3	0,578	0,872	0,40	0,22	0,27
HD1	3	1,882	1,120	0,19	0,15	0,09
2	3	1,891	0,823	0,14	-0,04	-0,05
3	3	1,356	1,026	0,34	0,14	0,09
4a	3	1,832	0,949	0,47	0,13	0,08
4b	2	0,089	0,349	0,17	0,00	-0,01
6	2	1,277	0,789	0,43	0,35	0,19
7	5	3,960	1,311	0,29	0,24	0,13
8	5	0,554	0,985	0,29	-0,01	0,06



De opzet van deze tabel is dezelfde als die van tabel 19. Bij toetsen HA en HC zien we hetzelfde verschijnsel als bij alle toetsen voor vwo: op de uitvoering is duidelijk hoger geskoord dan op de uitwerking van de proef. Bij opgaven HB en HD is op vrijwel dezelfde wijze geskoord op uitvoering en uitwerking. Evenals de vwo-kandidaten hebben ook de havo-kandidaten de laatste één à twee onderdelen van de uitwerking van elke toets zeer slecht gemaakt. Zeer laag is ook geskoord op de onderdelen HB3b en HD4b waar de leerlingen opmerkingen moesten maken naar aanleiding van hun waarnemingen. Meestal heeft men dit niet gedaan. Dit zou te wijten kunnen zijn aan tijdgebrek maar ook aan slordigheid of gebrek aan praktijkervaring. Deze slechte score had wellicht voorkomen kunnen worden door een duidelijker formulering van de opdracht. Gezien het verloop van de gemiddelde scores op de onderdelen en de bijbehorende standaarddeviaties is de opbouw van de vier toetsen bevredigend. Wat de uitvoering van de proef betreft is toets HD het slechtst gemaakt, wat de uitwerking betreft HA. Toets HA is als enige in z'n geheel niet voldoende gemaakt (gemiddelde relatieve score 0,48). De overige toetsen zijn voldoende gemaakt. Het gemiddelde cijfer van de havo-kandidaten voor het praktikum schoolonderzoek is 5,9. Dit ligt erg dicht bij het gemiddelde SO- en het gemiddelde CSE-cijfer (beide 5,8).

De korrelatiecoëfficiënten van de onderdelen met de bijbehorende toets bleken in vrijwel alle gevallen significant positief (niet weergegeven in tabel 20). De korrelatiecoëfficiënten tussen de onderdelen enerzijds en Pr. SO, SO en CSE anderzijds zijn wat het Pr. SO betreft in 67% van de gevallen significant positief en wat het SO en CSE betreft in 26% van de gevallen. Vrijwel alle korrelatiecoëfficiënten zijn positief. Bij SO en CSE zijn de korrelatiecoëfficiënten van de onderdelen met betrekking tot de uitwerking in het algemeen iets groter en die met betrekking tot de uitvoering, behalve bij opgave HB. Bij deze opgave is overigens de uitvoering iets slechter gemaakt dan de uitwerking. De korrelatiecoëfficiënten van het resultaat voor praktikum schoolonderzoek met de SO- en CSE-cijfers bedragen respectievelijk 0,40 en 0,34. Dit is lager dan bij het vwo hetgeen erop wijst dat deze opgaven met betrekking tot toetsing van praktijkvaardigheden beter voldoen. De korrelatiecoëfficiënten tussen de scores op de vier toetsen onderling blijken in het algemeen nogal laag maar wel positief te zijn (rond 0,20) hetgeen wijst op onafhankelijkheid van de vier toetsen.

### **Kanonieke korrelaties vwo**

Voor kanonieke korrelatierekening zijn intuïtief een aantal groepen variabelen vastgesteld. Naast de groep met SO- en CSE-cijfers bestaat elke groep uit de scores op de onderdelen waarin dezelfde vaardigheden worden getoetst. In tabel 21 zijn de vaardigheden omschreven en de bijbehorende variabelen weergegeven.

Tabel 21: Groepen variabelen voor kanonieke korrelatierekening vwo

groep	omschrijving vaardigheid	variabelen
1	algemeen fysische kennis en inzicht	SO, CSE
2	experimenteren	A1-4, B23, C12, D1-4
3	uitwerken van de experimenten	A5-8, B4-6, C3-7, D5-8
4	meten	A12, B2, C2, D23
5	opstelling bouwen	C1, D1
6	grafiek tekenen	B6, C4, D5
7	verklaring geven	A8, D7, D8

Onderdelen die slecht diskrimineren zijn in het algemeen niet ingedeeld. De omschrijving van experimenteervaardigheden die opgesteld zijn door CITO-medewerkers zijn niet bruikbaar vanwege de te ver gaande gedetailleerdheid. Wanneer we één onderdeel van één van de twee toetsen bekijken dan vinden we vaak dat in dat onderdeel verscheidene vaardigheden van de CITO-lijst getoetst worden. Het resultaat van kanonieke korrelatierekening met de 7 groepen uit tabel 21 is gegeven in tabel 22. Voor de opzet van deze tabel, zie tabel 10.

Tabel 22: Kanonieke korrelatiecoëfficiënten vwo met overschrijdingskansen

groep	1 algemeen	2 experim.	3 uitwerken	4 meten	5 opstelling	6 grafiek	7 verklaring
1							
2	0.56 + 0.000						
3	0.64 + 0.000	0.44 + 0.022					
4	0.50 + 0.000	0.91 + 0.000	0.47 + 0.001				
5	0.27 + 0.000	0.83 + 0.000	0.22 - 0.457	0.24 - 0.126			
6	0.43 + 0.000	0.44 + 0.001	0.86 + 0.000	0.41 + 0.007	0.29 + 0.018		
7	0.48 + 0.000	0.33 - 0.259	0.86 + 0.000	0.36 + 0.039	0.15 - 0.715	0.44 + 0.000	

De kanonieke korrelatiecoëfficiënt van SO en CSE met alle andere groepen variabelen is steeds significant. De coëfficiënt met groep 5, opstelling bouwen, is het kleinst. De kanonieke korrelatiecoëfficiënt tussen de onderdelen 'uitvoering van het experiment' (groep 2) enerzijds en de onderdelen 'meten' en 'opstelling bouwen' (groepen 4 en 5) anderzijds is steeds groter dan die tussen 'uitvoering' enerzijds en 'uitwerking' (groepen 3, 6 en 7) anderzijds. Andersom is het gesteld met de kanonieke korrelatiecoëfficiënten behorend bij alle onderdelen 'uitwerking van het experiment' (groep 3). Er is wel een onderscheid zichtbaar tussen uitvoering en uitwerken maar gedetailleerder onderscheid levert kanonieke korrelatierekening niet op. De korrelatiecoëfficiënten tussen de groepen 4 t/m 7 onderling zijn weliswaar niet groot maar wel in een aantal gevallen waar we dat niet verwachten significant.

### Kanonieke korrelaties havo

Ook voor kanonieke korrelatierekening met de resultaten van de havo-leerlingen is een aantal groepen variabelen vastgesteld (tabel 23).

Tabel 23: Groepen variabelen voor kanonieke korrelatierekening havo

groep	omschrijving vaardigheid	variabelen
I	meetserie verkrijgen en vastleggen	A4b, C3, D4a
II	opstelling bouwen	C12, D1
III	verschijnsel beschrijven	A4a, D2
IV	meetserie vastleggen en beschrijving geven	B3, D4
V	experimentele handelingen beschrijven	A2b, B1, B4, C4, D3
VI	verklaring geven	A6, B6, D6
VII	berekenen	A7, A8, B7, C6
VIII	grafiek tekenen	B5, C5, D7
IX	algemeen fysische kennis en inzicht	SO, CSE

De groepen I t/m V hebben betrekking op de uitvoering van het experiment, de groepen VI t/m VIII op de uitwerking. De vaardigheid 'konklusies trekken' ontbreekt omdat de onderdelen waarin deze vaardigheid getoetst wordt niet goed diskrimineren. Het resultaat van kanonieke korrelatierekening met de negen groepen uit tabel 23 is gegeven in tabel 24.

Bekijken we tabel 24 dan zien we dat de kanonieke korrelatiecoëfficiënten tussen de vaardigheden genoemd in tabel 23 in het algemeen klein en vaak niet significant zijn. Bij de grootste twee waarden I-II en I-IV hebben we te maken met op elkaar volgende onderdelen (C3 in I en C12 in II) res-

Tabel 24: Kanonieke korrelatiecoëfficiënten havo met overschrijdingskansen

groepen	I meetserie	II opstelling	III verschijnsel	IV meetserie +	V handelingen	VI verklaring	VII berekening	VIII grafiek
II	0,58 + 0,000							
III	0,33 + 0,039	0,17 - 0,570						
IV	0,96 + 0,000	0,11 - 0,863	0,19 - 0,427					
V	0,53 + 0,007	0,50 + 0,001	0,51 + 0,000	0,35 + 0,021				
VI	0,32 - 0,184	0,29 - 0,171	0,29 - 0,131	0,34 - 0,062	0,37 - 0,090			
VII	0,52 + 0,000	0,29 - 0,144	0,34 - 0,100	0,29 - 0,332	0,39 - 0,077	0,44 + 0,007		
VIII	0,32 + 0,017	0,30 + 0,037	0,16 - 0,816	0,35 + 0,027	0,38 - 0,290	0,35 - 0,101	0,45 + 0,001	
IX	0,18 - 0,747	0,20 - 0,393	0,20 - 0,419	0,05 - 0,995	0,26 - 0,676	0,46 + 0,000	0,45 + 0,001	0,40 + 0,001

pektievelijk vaardigheden die gedeeltelijk dezelfde inhoud hebben (I is 'meetserie verkrijgen en vastleggen' en IV evenzo met bovendien 'een beschrijving geven').

Bij het havo komt dus duidelijker dan bij het vwo naar voren dat de vaardigheden die naar aanleiding van de toetsen vastgesteld zijn onderling herkenbaar verschillen. Evenals bij het vwo zien we onderscheid tussen de uitvoerings- en uitwerkingsvaardigheden. We zien vaker een significante kanonieke korrelatie tussen de groepen met betrekking tot uitvoering onderling en de groepen met betrekking tot uitwerking onderling dan tussen de groepen met betrekking tot uitvoering enerzijds en de groepen met betrekking tot uitwerking anderzijds. Bovendien zijn de kanonieke korrelatiecoëfficiënten tussen de groepen met betrekking tot de uitvoering en de SO- en CSE-cijfers steeds niet significant. Dit is niet het geval voor de groepen met

betrekking tot de uitwerking. Dit alles wijst erop dat uitvoeringsvaardigheden die alleen getoetst kunnen worden door middel van praktische toetsen herkenbaar verschillen van uitwerkingsvaardigheden die in principe ook getoetst kunnen worden door middel van schriftelijke testen.

### 'Principal factor' analyse vwo

Als variabelen voor het faktoranalyseprogramma van SPSS zijn weer de scores genomen op onderdelen of groepen onderdelen en de cijfers voor SO en CSE. Een overzicht van de uitgevoerde analyses staat in tabel 25 (voor de indeling zie tabel 12).

Tabel 25: 'Principal factor' analyses vwo

N	m	p	% l	% p	variabelen
1	8	3	27,6	57,2	A1-4, B23, C12, D1-4, A5-8, B4-9, C3-7, D5-8
2	10	3	33,7	57,6	Idem met SO en CSE
3	13	5	18,9	58,2	A12, B2, C2, D23, C1, D1, B6, C4, C5-7, D8, D5, A8, B7-9
4	15	5	22,8	57,6	Idem met SO en CSE
5	11	4	25,5	59,2	A12, B2, C2, D23, C1, D1, B6, C4, D5, SO, CSE

Steeds is ook de varimax rotatiemethode toegepast. Omdat bij eerdere analyses gebleken is dat varimax en quartimax vrijwel hetzelfde resultaat opleverden is de tweede rotatiemethode in het vervolg achterwege gelaten. Interpretatie van de factoren aan de hand van de faktorladingen levert de volgende omschrijvingen van de factoren op:

a. algemeen (theoretisch) fysische kennis en inzicht.

Deze faktor wordt bepaald door hoge waarden van de faktorladingen op SO en CSE. Dit is ook na varimax rotatie vrijwel steeds de eerste faktor.

b. experimenteren.

Deze faktor wordt bij de eerste analyses bepaald door de variabelen waarin van elke toets de onderdelen samengevoegd zijn die betrekking hebben op uitvoering van het experiment. Bij verdere analyses waar deze variabelen gesplitst worden kunnen we enig onderscheid zien tussen opstelling bouwen en meten. De faktor experimenteren is steeds de tweede of derde faktor ook na varimax rotatie.

c. uitwerken van experimenten.

Deze faktor wordt bepaald door de variabelen waarin van elke toets de onderdelen samengevoegd zijn die betrekking hebben op uitwerking van het experiment.

d. grafiek tekenen van meetserie.

Deze faktor komt het duidelijkst voor bij analyse 3 en analyse 5. Hoog scores D5 en C4 maar ook B6.

Vergelijken we de resultaten van faktoranalyse met de resultaten van kanonieke korrelatierekening voor vwo (tabel 21 en 22) dan wordt naast 'algemeen fysische kennis en inzicht' het onderscheid tussen de vaardigheden 'experimenteren' en 'uitwerken van experimenten' ook bij faktoranalyse bevestigd. Bovendien kan de vaardigheid 'grafiek tekenen van meetserie' herkend worden.

### 'Principal factor' analyse havo

Ook met de scores van 102 havo leerlingen is principal factor analyse uitgevoerd. De uitgevoerde analyses zijn vermeld in tabel 26.

Tabel 26: 'Principal factor' analyses havo

N	m	p	% l	% p	variabelen
1	23	9	15,0	65,5	A2b,4,6,7,8, B1,2,3,4,5,6,7, C12,3,4,5,6,7, D2,3,4,6,7
2	25	9	15,6	64,9	Idem met SO en CSE
3	15	5	18,5	56,1	A4,6,7,8, B12,3,5,6,7, C5,6,7, B1,23,4,7
4	17	6	19,2	61,6	Idem met SO en CSE
5	9	3	21,9	51,0	A4,7,8, B3,5,C1-3,5, D23,4,7
6	11	4	22,1	58,5	Idem met SO en CSE

Voor de p factoren met eigenwaarde groter dan één is bovendien een orthogonale rotatie van het assenstelsel toegepast volgens de varimax methode. Bij de verschillende analyses komt een aantal factoren steeds terug:

a. algemeen (theoretisch) fysische kennis en inzicht.

In een aantal gevallen ligt de nadruk van deze faktor meer op het experiment. Naast SO en CSE scores in dat geval enkele praktische vaardigheden hoog. Bovendien is de faktorlading voor het SO dan groter dan die voor het CSE.

b. experimenteren.

De faktor wordt bepaald door het eerste onderdeel van toets C en toets

D in combinatie met de meetseries uit toetsen A, B of C. De faktor zou dus nauwkeuriger omschreven kunnen worden als 'opstelling bouwen en (kritisch) meten'. De toevoeging 'kritisch' heeft betrekking op de onderdelen waarbij de leerlingen naast een meetserie verkrijgen ook nog kwalitatieve waarnemingen moeten doen.

c. meetserie vastleggen en beschrijving geven.

Deze faktor wordt bepaald door de onderdelen B3 en D4.

d. grafiek tekenen.

De faktor wordt bepaald door de onderdelen C5 en D7. Soms skoren ook onderdelen die betrekking hebben op de vaardigheden meten en waarnemen redelijk hoog.

e. konklusies trekken uit grafieken.

Deze faktor komt slechts een enkele keer voor en wordt bepaald door C67 en B67.

f. berekenen naar aanleiding van het experiment.

Ook deze faktor komt slechts een enkele keer voor en wordt bepaald door A78.

De laatste twee omschrijvingen van faktoren hebben betrekking op de uitwerking van het experiment. Een aantal faktoren kon niet omschreven worden. Vaak was er dan sprake van yerschillende vaardigheden van op elkaar volgende onderdelen uit dezelfde toets, die toch kennelijk afhankelijk waren van elkaar.

Vergelijking van de resultaten van 'faktoranalyse' met die van kanonieke korrelatierekening levert grote overeenstemming. Een aantal tevoren vastgestelde omschrijvingen van vaardigheden bij kanonieke korrelatierekening (tabel 23) blijkt zich te handhaven bij 'faktoranalyse'. Bij het havo komt dit duidelijker tot uitdrukking dan bij het vwo. De toetsen voor havo lijken meer yerschillende vaardigheden te testen dan de toetsen voor vwo.

## **Ervaringen met de vier proeven**

Ondanks het feit dat de praktikumtoetsen door ons ontwikkeld zijn en ondanks de adviezen die na de ontwikkeling door ons gegeven zijn bleek de voorbereiding op de scholen nog een erg tijdrovende bezigheid. Vooral het gereed maken van de opstellingen kostte de docenten en de amanuenses veel tijd.

De leraren waren unaniem van mening dat de tijd beschikbaar voor de uitvoering van de proeven (gepland 15 minuten per proef) te kort was. Zelfs op scholen waar men voor het experimenteren 20 tot 30 minuten per proef heeft uitgetrokken zaten leerlingen nog vaak in tijdnood. Voordat de leerlingen beginnen met experimenteren hebben leerlingen tijd nodig om zich een idee te vormen van de proef als geheel, ze moeten tijd hebben om de inleiding te lezen, om de vragen door te nemen en om de apparatuur te bekijken. Deze tijd was te gering.

Op sommige scholen wordt nog weinig praktikum in de bovenbouw ge-

daan. Doordat leerlingen bovendien te weinig zelfstandig experimenteren op de scholen ontbrak vaak een systematische aanpak van de proeven. Zo waren er weinig leerlingen die begonnen met zorgvuldig lezen van inleidende tekst en opdrachten. Men beschouwt dit kennelijk als tijdverlies en begint direkt met opstelling maken en meten. Hierdoor ontstonden nogal wat fouten die voorkomen hadden kunnen worden door goed lezen. Op één school heeft ongeveer de helft van de havo-leerlingen (22) en ruim een derde deel van de vwo-leerlingen (16) direkt nadat ze klaar waren met de uitwerking van de proeven een aantal korte vragen beantwoord (appendix IX-23).

Het praktische schoolonderzoek natuurkunde bleek zowel de kandidaten van het vwo als die van het havo tegengevallen te zijn. Men was dan ook niet erg optimistisch over het cijfer en men klaagde over tijdgebrek. De leerlingen van beide schooltypen vonden de vragen van de uitwerking moeilijk; het experimenteren viel nogal mee. Slechts een enkeling was zenuwachtig geweest. De meesten merkten op 'je wist niet wat er kwam dus hoefde je niet zenuwachtig te zijn'. Vrijwel alle leerlingen van de betreffende school vonden dat ze in de loop der jaren te weinig geoefend hadden in het doen van praktikum. Als ze gemiddeld zo'n 2 uur per maand hadden besteed aan praktikum dan waren ze voldoende voorbereid geweest, zo meende men. Men toonde zich redelijk tevreden over de proeven op zich en over de lay-out van de instructiebladen. Overheersend was de mening: 'We hadden veel te weinig tijd'.

De docenten is de beoordeling van de experimenteervaardigheden van de leerlingen tijdens de uitvoering van 2 van de 4 proeven tegengevallen. Om organisatorische redenen waren de groepen toch vaak nog groter dan 4 personen. Maar zelfs bij groepen van 4 leerlingen bleek het vaak onmogelijk het handelen van elk van de leerlingen gedetailleerd te beoordelen. Een ander nadeel van beoordeling tijdens de proef is de zware belasting voor de docent. Hij moet ongeveer 6 uur achtereen observeren en daarnaast blijft hij verantwoordelijk voor de organisatie.

## **Konklusies**

In de vier praktikumtoetsen voor vwo en havo kan met behulp van kanonieke korrelatierekening en hoofdkomponentenanalyse een aantal praktikumvaardigheden onderscheiden worden van vaardigheden die ook schriftelijk toetsbaar zijn. Het blijkt mogelijk de praktikumvaardigheden te differentiëren naar opstelling bouwen, meetserie verkrijgen en vastleggen, kwalitatieve waarnemingen doen. Bij de havo-toetsen lukte dit beter dan bij de vwo-toetsen. Dit wijst erop dat de havo-opgaven met betrekking tot toetsing van praktikumvaardigheden beter voldoen dan de vwo-opgaven, het geen al eerder is opgemerkt.



Ook in de vaardigheden samenhangend met de uitvoering van het experiment kan men op grond van de analyses enige detaillering aanbrengen. Het duidelijkst kan 'grafiek tekenen' onderscheiden worden. Verder vinden we ook 'konklusies trekken' en 'berekenen naar aanleiding van het experiment', bij het havo beter dan bij het vwo.

De toetsen zijn door de leerlingen goed gemaakt wanneer de cijfers vergeleken worden met de SO- en CSE-resultaten. De toetsen zijn homogeen qua opbouw en de korrelatiecoëfficiënten met de SO- en CSE-cijfers vertonen een bevredigend beeld.

De docenten toonden zich tevreden over de proeven. De toetsen waren zeker niet te moeilijk en van goede kwaliteit. Wel is een aantal bezwaren en suggesties tot verbetering van het praktisch schoolonderzoek door de leraren maar ook door de leerlingen naar voren gebracht.

- De tijd beschikbaar voor de uitvoering en de uitwerking van de proeven was te kort. Een uur per proef zou beter geweest zijn.
- Vier verschillende proeven achtereenvolgend doen is te veel. De leerlingen moeten zich steeds opnieuw inwerken. Liever twee toetsen en meer tijd per experiment.
- Meer tijd voor voorbereiding is gewenst zodat de leerlingen, voordat ze met de opstelling geconfronteerd worden, zich een idee kunnen vormen over de aanpak van de proeven.
- Gedetailleerde beoordeling van praktikumvaardigheden van 4 of meer leerlingen blijkt te moeilijk voor één docent. Men ziet liever beoordeling van het handelen achteraf.

Gevraagd naar een algemeen oordeel bleken de docenten toch tevreden te zijn over het praktisch schoolonderzoek natuurkunde in de cursus 1980/1981.

## Hoofdstuk 10

### TOETSING VAN PRAKTIKUMVAARDIGHEDEN DOOR MIDDEL VAN KORTE PROEVEN

*In deze tijd van matte ongeïnteresseerdheid was het zaak dadelijk op te treden. Je moest laten voelen dat je er was.*

*Jan Siebelink*

Het gedetailleerd beoordelen van experimenteervaardigheden van vier of meer leerlingen tegelijk blijkt in de praktijk niet goed mogelijk. Bovendien bevatten de opdrachten zoals die gegeven worden in de hiervoor behandelde praktikumtoetsen in het algemeen meerdere detailvaardigheden van de CITO-lijst. Om toch experimenteervaardigheden gedetailleerd te kunnen beoordelen hebben de natuurkundedocenten van het Hertog Jan College uit Valkenswaard drie korte toetsen ontworpen. Deze korte toetsen waren opgenomen in het praktikum schoolonderzoek havo voor de cursus 1980/81 naast een groot experiment waaraan de leerlingen in groepjes van vier werkten terwijl ze daarna toch individueel beoordeeld werden op grond van het verslag en beantwoording van enkele vragen naar aanleiding van het experiment. Door de leerlingen individueel achtereenvolgens drie proeven van vijf minuten te laten uitvoeren is getoetst of zij een aantal meetinstrumenten konden gebruiken en aflezen. De leerlingen kregen bij elk experiment een blad met een drietal opdrachten. Op dit blad moesten ook de waarnemingen genoteerd worden. Terwijl een leerling met een experiment bezig was werden zijn handelingen beoordeeld door een leraar. Deze maakte hiervan aantekeningen op een korrektieblad dat de leerling niet mocht zien. Op de korrektie- of docentenbladen is zo volledig mogelijk aangegeven welke handelingen van de leerlingen beoordeeld worden. Ook zijn de punten vermeld die hiervoor toegekend kunnen worden. Voor elke leerling is de score ingevuld. 54 havo-leerlingen hebben achtereenvolgens drie proeven gedaan. Voor elke proef was één leraar verantwoordelijk. Hij heeft steeds de noodzakelijke aanwijzingen gegeven en notities gemaakt. De resultaten van deze drie korte proeven zijn mij door de leraren van het Hertog Jan College, een school die geen deel uitmaakt van het samenwerkingsverband, ter beschikking gesteld [127].

#### De drie korte proeven

De leerlingenbladen en docentenbladen van de drie korte proeven staan afgedrukt in Appendix IV-1 t/m IV-6.

Bij de eerste proef (Appendix IV-1 en IV-2) kwamen de volgende meetin-

strumenten aan de orde: oscilloskoop, toongenerator en stroboskoop. Op de oscilloskoop (opdracht 1) kwamen 3 perioden overeen met 5 schaaldelen. De toongenerator (opdracht 2) stond ingesteld op een frekwentie van 540 Hz. Op de motor (opdracht 3) was een merkteken aangebracht om 'stilstaand beeld' te verkrijgen. Alleen bij controle met dubbel beeld werd 3 punten toegekend. Het zoeken naar een controle-mogelijkheid werd beloond met 2 punten. De frekwentie van de motor bedroeg 37 Hz.

De volgende meetinstrumenten zijn bij de tweede proef (Appendix IV-3 en IV-4) gebruikt: ongelijkarmige balans met instelknop, maatbeker en schuifmaat.

Bij de balans (opdracht 1) moest de nulstand gecontroleerd worden. De massa van het blokje bedroeg 94,4 g. Bij de volumebepaling (opdracht 2) werd erop gelet hoe de leerling aflas. Het volume was 34,3 ml. De diameter van de staaf (opdracht 3) was 0,95 cm.

Bij de derde proef (Appendix IV-5 en IV-6) hebben de leerlingen gewerkt met een voltmeter en een ampèremeter.

Bij het tekenen in het schema (opdracht 1) werd ook gelet op de polariteit van de meters. De schakeling was gemonteerd op een bord. Bij de meters stond duidelijk aangegeven: voltmeter en ampèremeter. De nulinstelling van de meters was goed. Van de spanningsmeter waren de + en - verwisseld. De stroomsterkte door de lamp was 142 mA (opdracht 2). Het beste kon afgelezen worden op het 600 mA bereik. Bij opdracht 3 moet de leerling ompolen en het goede bereik kiezen (6V gelijkspanning). Er werd een spanning gemeten van 5,05 V.

### Analyse van de drie korte proeven

De gemiddelde scores van de 54 leerlingen op de verschillende onderdelen zijn berekend. Deze onderdelen zijn als volgt gekodeerd:

- de proeven worden respectievelijk aangegeven met de letters a, b, c.
- de nummers van de opdrachten vormen het eerste cijfer na de letter.
- de onderdelen van opdrachten (zie docentenbladen) worden weergegeven door het tweede cijfer.

De resultaten zijn verzameld in tabel 27. In deze tabel staan ook de correlatiecoëfficiënten van de onderdelen met bijbehorende proef en van de proef met het SO.

Op de onderdelen a31, c11, c21, c22 hebben (vrijwel) alle leerlingen de maximale score behaald. Onderdeel c13 is het slechtst gemaakt. De gemiddelde score op proef a was 6,8 (max. 10), op proef b was 6,8 (max. 12) en op proef c was 10,1 (max. 15). De gemiddelde score op de drie toetsen samen was 23,6 (max. 37).

Toets c is het best gemaakt. Misschien is tijdens de lessen vaak gewerkt met

Tabel 27: Analyse van de korte proeven  
N = 54

onderdeel	max. score	gem. score	korr. met a, b of c	korr. met SO	korr. met CSE
a11	2	0,685	0,49	0,12	0,30
12	1	0,778	0,49		
21	2	1,630	0,32		
22	1	0,907	0,21		
31	1	0,963	-0,02		
32	3	1,796	0,68		
b11	2	0,556	0,34	0,29	0,32
12	2	1,741	0,39		
13	1	0,815	0,50		
21	1	0,889	0,36		
22	2	0,463	0,41		
23	1	0,852	0,48		
31	2	0,981	0,64		
32	1	0,537	0,45		
c11	4	3,852	0,48	0,11	0,11
12	1	0,167	0,19		
13	1	0,111	0,15		
21	1	1,000	—		
22	1	1,000	—		
23	2	1,463	0,45		
31	1	0,593	0,86		
32	1	0,463	0,75		
33	3	1,407	0,85		

het maken van elektrische schakelingen en beantwoordde deze toets het best aan de verwachting van de leerlingen. De korrelatiecoëfficiënten van de onderdelen met de bijbehorende proef zijn naar verwachting significant positief behalve in de gevallen dat het onderdeel te gemakkelijk of te moeilijk is. Er is geen sprake van enige korrelatie tussen de onderdelen enerzijds en de SO- en CSE-cijfers anderzijds. De korrelatiecoëfficiënten van de drie proeven met de SO- en CSE-cijfers zijn klein en slechts in één geval significant positief.

Vervolgens bekijken we de praktikumvaardigheden die getoetst worden in de onderdelen van de drie proeven. Het blijkt slechts in enkele gevallen mogelijk in één onderdeel één detailvaardigheid van de CITO-lijst te herkennen. Daarom zijn hier vaardigheden benoemd waarbij vaak verscheidene detailvaardigheden volgens de CITO-lijst samengenomen moesten worden. In tabel 28 is een overzicht gegeven.

Enkele niet voldoende diskriminerende onderdelen zijn tussen haakjes geplaatst. Deze onderdelen zijn bij verdere bewerking met de in de tabel ge-

Tabel 28: Praktikumvaardigheden

vaardigheid	CITO-lijst	onderdelen	max. score	gem. score
aflezen	B24	$a_{11}+(a_{21})+c_{23}+c_{33}$	9	6,074
eenheden noteren	B333	$a_{12}+(a_{22})+b_{13}+(b_{23})+b_{32}$	5	3,889
aansluiten/inschakelen	B112+B122+ B123+B135	$(a_{31}+c_{21}+c_{22})+c_{31}+c_{32}$	5	4,019
kontrole handelingen uitvoeren	B132+B133	$a_{32}+b_{11}$	5	2,352
schema tekenen	A44	$(c_{11})+c_{12}+c_{13}$	6	4,130
nauwkeurig aflezen	B25+B331	$b_{12}+b_{22}+b_{31}$	6	3,185
meniskus aflezen	B243	$(b_{21})$	1	0,889

noemde praktikumvaardigheden weggelaten. In het algemeen blijken de korrelatiecoëfficiënten tussen de scores op de praktikumvaardigheden onderling zeer klein te zijn en niet significant. Alleen in het geval 'aflezen' en 'aansluiten/inschakelen' is de korrelatiecoëfficiënt groot maar hier is sprake van afhankelijkheid door opeenvolgende onderdelen. Ook korrelatie tussen de praktikumvaardigheden enerzijds en SO en CSE anderzijds blijkt niet aanwezig. Korrelatierekening geeft aan dat op de praktikumvaardigheden onderling kennelijk verschillend geskoord wordt door de leerlingen en dat bij deze toetsen iets anders getoetst wordt dan bij SO en CSE.

### Kanonieke korrelatierekening met praktikumvaardigheden

Met de groepen variabelen bestaande uit de scores op de onderdelen waarin dezelfde praktikumvaardigheden getoetst worden (tabel 28) en de SO- en CSE-cijfers is kanonieke korrelatierekening uitgevoerd. Het resultaat is weergegeven in tabel 29 (voor de opzet van de tabel, zie tabel 10).

In de meeste gevallen is de kanonieke korrelatiecoëfficiënt tussen de praktikumvaardigheden onderling klein en niet significant. Dit is een bevestiging van de uitspraak uit de vorige paragraaf dat de praktikumvaardigheden herkenbaar verschillend zijn. Voor de belangrijkste uitzondering geldt het eerder genoemde argument van opeenvolgende onderdelen.

Ook de kanonieke korrelatie tussen de praktikumvaardigheden enerzijds en SO en CSE anderzijds is steeds niet significant. Ook dit wijst er weer op dat deze praktikumvaardigheden kennelijk andere facetten van fysische

Tabel 29: Kanonieke korrelatiecoëfficiënten tussen praktijkvaardigheden met overschrijdingskansen

	aflezen	eenheid	aan/in	kontrole	schema	nauwk.afl.
eenheid	0,52 - 0,055					
aan/in	0,89 + 0,000	0,28 - 0,593				
kontrole	0,26 - 0,472	0,30 - 0,277	0,13 - 0,931			
schema	0,22 - 0,735	0,37 - 0,246	0,44 + 0,030	0,23 - 0,593		
nauwk.afl.	0,50 + 0,027	0,46 - 0,138	0,31 - 0,468	0,13 - 0,950	0,25 - 0,715	
SO/CSE	0,18 - 0,907	0,36 - 0,177	0,19 - 0,725	0,22 - 0,629	0,25 - 0,492	0,23 - 0,848

kennis en inzicht toetsen dan schriftelijk werk. Het CSE is geheel schriftelijk terwijl het SO voor het grootste gedeelte opgebouwd is uit schriftelijke toetsen.

### 'Principal factor' analyse met de korte proeven

Als variabelen fungeren de scores op onderdelen of groepen onderdelen en de cijfers voor SO en CSE. Een overzicht van de analyses staat in tabel 30. Er is ook steeds een varimax rotatie uitgevoerd.

Bij de analyse met SO en CSE hebben we steeds te maken met de faktor 'algemeen (theoretisch) fysische kennis en inzicht' bepaald door de SO- en CSE-cijfers. Verder zijn er nauwelijks factoren te vinden die bepaald worden door onderdelen uit verschillende opgaven. De meeste factoren worden bepaald door (opeenvolgende) onderdelen van één toets, zoals:

- voltmeter aflezen: C33,32,31;
- polariteit in elektrisch schema tekenen: c12,13;
- eenheden noteren: b13,23;
- oscilloskoop aflezen: a11,12;

Tabel 30: 'Principal factor' analyse met de korte proeven

N	m	p	% l	% p	variabelen
1	17	7	18,4	74,4	a11,12,21,32, b11,12,13,22,23,31,32, c12,13,23,31,32,33.
2	19	8	17,9	75,5	idem met SO en CSE
3	11	5	26,5	75,6	a11,12,32,b11,22,31,32, c23,31,32,33.
4	13	6	23,6	77,2	idem met SO en CSE
5	8	4	20,5	68,1	a11+12, 21+22, 32, b12+13, 22+23, 31+32, c23,32+33.
6	10	4	21,8	61,0	idem met SO en CSE

- nonius aflezen: b32,31;
- ampèremeter aflezen: c23;
- toongenerator aflezen: a21+22.

De factoren bepaald door onderdelen uit meerdere opgaven zijn:

- ampèremeter/nonius aflezen: c23,b31+32;
- aflezing nauwkeurig noteren: a11+12, b22+23.

Hoewel de steekproef te klein en bovendien selekt is levert het voorafgaande toch aanwijzingen dat praktikumvaardigheden onderscheiden kunnen worden naar het onderwerp en de inhoud van het experiment. Er lijkt verschil te bestaan tussen afleesvaardigheden afhankelijk van het meetinstrument. Het aflezen van een voltmeter lijkt een andere vaardigheid dan het aflezen van een nonius, een oscilloskoop of een toongenerator.

### Ervaringen en konklusies

Gedetailleerde beoordeling van praktikumvaardigheden volgens de methode van de korte proeven blijkt goed mogelijk wanneer één leraar per proef achtereenvolgens alle leerlingen individueel beoordeelt. De leraar moet er wel voor zorgen dat de werkomstandigheden voor elke leerling steeds gelijk zijn. De proeven moeten eenvoudig van aard zijn en de nadruk moet meer liggen op handelen en kennis van apparatuur dan op kennis van en inzicht in de fysika.

Er is geen bezwaar tegen contact tussen leerlingen die een proef wel en leerlingen die een proef niet gedaan hebben vanwege het niet kognitieve karakter van de toets. De leerling die een proef doet ziet niet welke beoordeling de leraar op een apart formulier vermeldt. Hij wordt ook niet gekor-

rigeerd en kan dus alleen maar informatie overbrengen in de trant van 'ik moest een ampèremeter aansluiten en aflezen' maar hoe de ampèremeter en de opstelling er verder uitzag en waar de docent op gelet heeft kan hij niet vertellen.

Het blijkt dat sommige leerlingen de door hen regelmatig gebruikte praktikumapparatuur onmiddellijk herkennen en ermee om kunnen gaan terwijl het lijkt of andere leerlingen de apparatuur voor het eerst zien. Kennelijk is de taakverdeling tijdens praktikum vaak zodanig, dat dezelfde leerlingen steeds schrijven of zich bezig houden met de theorie van de proef, terwijl anderen steeds de apparatuur bedienen. Het is daarom verstandig de leerlingen tijdens praktikum in de bovenbouw, de oefensituatie voor praktisch schoolonderzoek, te stimuleren om variatie in onderlinge taakverdeling aan te brengen.

De resultaten van de havo-leerlingen behaald op de korte toetsen hebben een lage (positieve) korrelatie met de SO- en CSE-cijfers. Dit wijst erop dat ook de minder goede leerling voor natuurkunde (bepaald door het SO- en CSE-cijfer) op deze toetsen goed kan skoren terwijl de goede leerling niet automatisch goed behoeft te skoren. De geringe (positieve) korrelatie tussen de toetsen onderling wijst op een zekere onafhankelijkheid. Dit betekent tevens dat op dezelfde praktikumvaardigheid verschillend geskoord wordt, afhankelijk van de proef. Dit wordt bevestigd door 'faktoranalyse'.



## Hoofdstuk 11

### TWEE PRAKTIKUMTOETSEN EN EEN KORTE PROEF VOOR HAVO EN VWO

*Causas rerum naturalium non plures  
admitti debere quam quae & verae sint,  
& earum Phaenomenis explicandis suf-  
ficient.*

*Gulielmus Jacobus 's Gravesande*

Omdat de geplande tijd voor de vier praktikumtoetsen in de cursus 1980/81 zowel wat uitvoering betreft als wat de uitwerking betreft te kort is geweest (hoofdstuk 9) is besloten voor de cursus 1981/82 slechts twee toetsen van dezelfde omvang te ontwikkelen. Maar nu krijgen de vwo- en havo-leerlingen per proef ½ uur voor de uitvoering van het experiment en ½ uur voor de uitwerking. De experimenteervaardigheden bij deze toetsen moeten zoveel mogelijk achteraf beoordeelbaar zijn omdat gebleken is dat gedetailleerde beoordeling van deze vaardigheden tijdens het experiment te moeilijk is. Om toch praktikumvaardigheden gedetailleerd te beoordelen kan gebruik gemaakt worden van één of meer korte proeven zoals die opgenomen waren in het praktische schoolonderzoek op het Hertog Jan College (hoofdstuk 10). Eén leraar moet dan alle leerlingen achtereenvolgens individueel op dezelfde manier beoordelen terwijl ze de korte proef uitvoeren. Per leerling wordt daarbij gewerkt met een opdrachtformulier en een gedetailleerd beoordelingsformulier.

In de loop van de cursus 1981/82 zijn voor havo en voor vwo twee praktikumtoetsen en een korte toets ontwikkeld. De korte proef was voor havo en vwo dezelfde. De leerlingen hebben de proeven in maart 1982 gemaakt. Speciale voorbereiding was niet nodig. Vooraf kregen zij wel een lijstje met tips (appendix V-1). Nadat de vwo- en havo-leerlingen op de scholen de toetsen gemaakt hadden zijn de werken door de docenten nagekeken volgens een door ons opgestelde normering.

Slechts enkele experimenteervaardigheden moest de docent beoordelen tijdens de uitvoering van de proeven, hetgeen in het algemeen geen problemen opleverde. Bij de statistische verwerking van de toetsen zijn wij volledig afgegaan op de punten die de docenten toegekend hebben. De punten konden zij invullen in een door ons opgesteld overzichtelijk schema.

#### **De ontwikkelde proeven voor havo en vwo**

Voor het vwo zijn twee proeven ontwikkeld:

A. De gehandicapte slinger (appendix V-2 en V-3);

B. Temperatuurafhankelijke weerstand (appendix V-4 en V-5).

Aan de leraren is een lijst verstrekt met de normering (appendix V-6). Alleen bij proef B moest de leraar tijdens de uitvoering een beoordeling geven. De schakeling moest gecontroleerd worden (opdracht 1). Bovendien moest hij de leerlingen tijdens het experimenteren observeren en ingrijpen wanneer dat nodig was. Voor een ingreep moest hij punten aftrekken (maximaal 5). De overige vaardigheden met betrekking tot de uitvoering konden voor beide proeven achteraf beoordeeld worden. De twee proeven zijn volledig gemaakt door 140 vwo-eindexamenkandidaten.

Korte bespreking van de twee proeven:

*Proef A*

Deze proef is te beschouwen als een variant van de mathematische slinger en van eerder gebruikte slingerproeven. Een slingerproef is eenvoudig van opzet en met eenvoudig materiaal uitvoerbaar. Daardoor zijn proeven met slingers in het algemeen zeer geschikt voor een praktikumtoets. Het nieuwe aspect bij deze toets is het vaste punt (dwarsstaafje) waardoor een combinatie ontstaat van twee slingers, nl. één met normale lengte en één met gereduceerde lengte. Vanwege het formule- en rekenwerk is de proef het meest geschikt voor vwo.

*Proef B*

Bij deze proef wordt de temperatuurafhankelijkheid van een weerstand onderzocht in het temperatuurgebied tussen 20 °C en 100 °C.

Van een NTC is de weerstandstemperatuurcoëfficiënt in dit gebied zeker niet konstant, zodat gekozen is voor een platina meetweerstand (PTC) met een redelijk konstante weerstandstemperatuurcoëfficiënt van  $0,38 \Omega K^{-1}$ . De gekozen platina weerstand was weliswaar duur maar toch voor de meeste scholen interessant om aan te schaffen ook voor gebruik bij demonstraties en praktika. Omdat kwantitatief ingegaan wordt op de temperatuurafhankelijkheid van een weerstand komt deze proef, gezien het examenprogramma, in aanmerking voor het vwo.

Voor het havo zijn eveneens twee proeven ontwikkeld:

HA. Diode (appendix V-7 en V-8);

HB. Waterstraalproef (appendix V-9 en V-10).

Ook voor deze proeven is een normering opgesteld (appendix V-11). Wat de beoordeling tijdens de uitvoering betreft konden bij proef HA schakelingen verkeerd gemaakt worden terwijl ook bij proef HB fouten in de uitvoering mogelijk waren. Elke ingreep door de docent kostte de leerling punten. De overige praktikumvaardigheden waren weer achteraf beoordeelbaar.

De twee proeven zijn gemaakt door 209 havo-leerlingen.

Korte bespreking van de twee proeven.

*Proef HA*

Bij deze proef wordt gewerkt met een zenerdiode (BZX79C5V1). Omdat

de halfgeleiderdiode vermeld wordt in het havo-eindexamenprogramma kan havo-leerlingen gevraagd worden een diode-karakteristiek door te meten (schakeling I). Vervolgens moesten de leerlingen ook meten aan een schakeling waarin een weerstand  $R$  van  $20\Omega$  in serie met de diode opgenomen was (schakeling II). Nadat de  $V-I$ -grafieken getekend waren kon getoetst worden of de leerlingen inzicht hadden in de spanningsdeling.

#### *Proef HB*

Deze proef is een variant van een eerder beschreven proef (hoofdstuk 8). Bij de hier gebruikte proef wordt de afhankelijkheid bekeken tussen de afstand die de waterstraal in horizontale richting aflegt voordat de 'grond' bereikt wordt en de hoogte van de waterkolom in de cilinder. Bij de uitwerking wordt van de leerlingen begrip gevraagd over de kogelbaan.

Bij de korte proef is gebruik gemaakt van een leerlingenblad (appendix V-12) en een docentenblad (appendix V-13). De havo- en vwo-leerlingen moesten een opstelling maken om het interferentiepatroon van laserlicht door een tralie op een scherm te verkrijgen. Zij moesten vervolgens twee metingen verrichten.

De proef is door 108 havo- en 82 vwo-leerlingen gemaakt.

#### **Analyse van de vwo-toetsen**

De statistische verwerking van de twee vwo-toetsen is weergegeven in tabel 31.

In de tabel zijn van de 140 vwo-leerlingen naast de gemiddelde scores op de onderdelen met de bijbehorende standaarddeviaties ook enkele correlaties gegeven. Op de onderdelen die betrekking hebben op de uitvoering is hoger geskoord dan op de onderdelen betreffende de uitwerking van de proeven. Op de onderdelen die betrekking hebben op het verzamelen van meetgegevens (A2, A3, B2/3 en B4) is zeer hoog geskoord. Er is bij deze onderdelen slechts beoordeeld of de leerlingen hun meetgegevens verkregen hebben en hoe zij deze meetgegevens vastgelegd hebben maar niet gedetailleerd op welke wijze zij de meetgegevens verkregen hebben tenzij een ingreep door de docent noodzakelijk was. Door deze manier van beoordelen is sterk afbreuk gedaan aan het discriminerend karakter van eerder genoemde onderdelen. Dit blijkt ook uit de waarden voor de standaarddeviaties. Met het maken van een elektrische schakeling blijken vwo-leerlingen met praktijkervaring in het algemeen geen problemen te hebben (B1.) Van de uitwerking zijn in totaal slechts 3 onderdelen onvoldoende gemaakt: A7, A9a en A9b. De relatieve standaarddeviatie van de onderdelen die betrekking hebben op de uitwerking is in het algemeen groter dan die van de uitvoeringsonderdelen. De uitwerkingsonderdelen discrimineren dus meestal beter. Gezien de hoge waarden van de correlatiecoëfficiënten tussen de onderdelen en de bijbehorende opgaven (behalve A1 en A4) zijn de opga-

Tabel 31: Statistische verwerking twee praktikumtoetsen vwo  
N = 140

onderdeel	max. score	gem. score	stand. deviatie	korr. A/B	korr. SO	korr. CSE
A1	2	1,279	0,840	0,08	0,17	-0,11
2	9	7,521	1,925	0,76	0,19	0,24
3	9	7,079	2,693	0,80	0,10	0,20
4	4	3,200	0,732	0,04	0,08	0,05
5	5	3,329	1,089	0,59	0,15	0,26
6	5	3,236	1,215	0,41	0,21	0,28
7	3	1,321	1,248	0,49	0,27	0,28
8	4	2,900	1,406	0,52	0,15	0,15
9a	2	0,871	0,943	0,33	0,33	0,15
9b	2	0,743	0,932	0,36	0,26	0,20
totaal	45	31,479	6,852	—	0,34	0,36
B1	5	4,129	1,429	0,22	0,25	0,10
2/3	12	10,514	1,566	0,43	0,08	0,15
4	3	2,535	0,701	0,32	0,19	0,19
5	5	3,621	1,496	0,46	0,06	0,07
6a	6	5,557	1,020	0,41	0,16	0,19
6b	4	2,657	1,228	0,65	0,16	0,17
7	3	2,471	0,978	0,67	0,31	0,30
8	3	1,514	1,056	0,48	0,16	0,17
9	4	2,971	1,357	0,61	0,30	0,30
totaal	45	35,969	5,197	—	0,35	0,39

ven homogeen kwa opbouw. De korrelatie tussen de onderdelen en de SO-respektievelijk de CSE-cijfers is gering en in 87% van de gevallen niet significant.

Beide toetsen zijn erg goed gemaakt. Toets B is beter gemaakt dan toets A (gem. cijfer respectievelijk 8,2 en 7,3). De hoge scores op de uitvoeringsonderdelen doen enige afbreuk aan de betrouwbaarheid van deze praktische toetsen. Toch wijzen de (lage) waarden van de korrelatiecoëfficiënten met de SO- en CSE-cijfers erop dat door middel van deze toetsen iets anders getoetst is bij leerlingen dan door middel van schriftelijke toetsen.

Vergelijken we de cijfers voor de twee toetsen met de gemiddelde cijfers voor het SO (7,1 met standaarddeviatie 1,1) en het CSE (5,7 met standaarddeviatie 1,5) dan blijken de toetsen aan de gemakkelijke kant. Het grote verschil tussen het gemiddelde SO-cijfer en het gemiddelde CSE-cijfer is te wijten aan de kennelijk te hoge moeilijkheidsgraad van het CSE. Volgens de door de NVON gehouden enquête bedroeg het percentage onvoldoenden 33%, volgens een CITO-enquête 40% [133]. Toch waren de leraren volgens de NVON-enquête wel tevreden over het werk. Alleen was de tijd die leerlingen ter beschikking hadden krap bemeten.

De korte proef is door de 82 vwo-leerlingen goed gemaakt (tabel 32).

Tabel 32: Statistische verwerking korte proef vwo  
N = 82

onderdeel	max. score	gem. score	stand. deviatie	korr. C	korr. SO	korr. CSE
C1	5	3,902	0,897	0,37	0,22	0,22
2	7	4,866	1,455	0,82	0,11	0,18
3	3	2,671	0,721	0,51	0,11	-0,07
totaal	15	11,439	1,893	-	0,23	0,21

De korrelatiecoëfficiënten van de onderdelen met de SO- en CSE-cijfers zijn klein.

### Analyse van de havo-toetsen

De statistische verwerking van de twee havo-toetsen die gemaakt zijn door 209 leerlingen staat in tabel 33.

Tabel 33: Statistische verwerking twee praktikumtoetsen voor havo  
N = 209

onderdeel	max. score	gem. score	stand. deviatie	korr. HA/HB	korr. SO	korr. CSE
HA schak.	12	9,400	2,960	0,69	0,26	0,24
1	2	1,110	0,856	0,28	-0,02	0,08
2	2	1,751	0,639	0,43	0,14	0,17
3	2	1,545	0,784	0,48	0,03	0,04
4	2	1,426	0,869	0,54	0,08	0,15
5	6	4,589	1,384	0,48	0,12	0,09
6	3	2,402	1,061	0,40	0,18	0,23
7	6	4,852	1,178	0,50	0,16	0,08
8a	4	1,239	1,650	0,52	0,34	0,35
8b	3	2,373	1,103	0,48	0,18	0,24
8c	3	1,081	1,355	0,39	0,29	0,21
totaal	45	31,768	7,031	-	0,38	0,37
HB alg.uitv.	8	7,373	1,162	0,17	0,05	0,01
1	6	4,962	1,046	0,49	0,18	0,14
2	6	4,995	1,067	0,50	0,17	0,11
3	8	5,545	1,795	0,52	0,24	0,19
4a	2	0,856	0,882	0,46	0,36	0,28
4b	2	1,048	0,974	0,39	0,36	0,23
5a	3	2,067	1,133	0,32	0,23	0,15
5b	3	1,751	1,179	0,55	0,29	0,20
5c	3	1,474	1,390	0,44	0,35	0,30
6a	2	0,384	0,760	0,29	0,20	0,17
6b	2	0,656	0,897	0,32	0,30	0,29
totaal	45	31,111	5,036	-	0,61	0,45

Ook bij deze toets is op de onderdelen met betrekking tot de uitvoering hoger geskoord dan op de onderdelen met betrekking tot de uitwerking. Voor de 'algemene uitvoering' bij proef HB is vrijwel nooit iets afgetrokken. De opdrachten 1 t/m 4 van proef HA diskrimineren redelijk goed gezien de gemiddelde scores en de relatieve standaarddeviaties. Onderdeel HB6a is verreweg het slechtst gemaakt. Verder zien de gemiddelde scores er goed uit. De opbouw van de toetsen is goed wanneer we kijken naar de korrelatiecoëfficiënten van de onderdelen met de bijbehorende opgaven. De korrelatiecoëfficiënten van de onderdelen met het SO en het CSE zijn zoals gebruikelijk vaak laag en niet significant wat proef HA betreft (45%). Wat proef HB betreft vallen toch de grotere korrelatiecoëfficiënten op met name met het schoolonderzoek (slechts in één geval niet significant). Dit geldt ook voor toets HB als geheel. Beide toetsen zijn goed gemaakt (gemiddeld cijfer voor proeven HA en HB zijn respectievelijk 7,4 en 7,2). Vergelijking van de cijfers voor de twee toetsen met de gemiddelde cijfers voor SO (6,3 met standaarddeviatie 1,0) en CSE (5,3 met standaarddeviatie 1,4) laat zien dat de toetsen enigszins aan de gemakkelijke kant waren. Evenals bij het vwo valt ook bij havo het verschil op tussen het gemiddelde SO- en CSE-cijfer. Ook hier is het grotere verschil dan in de voorafgaande jaren te wijten aan de moeilijkheidsgraad van het CSE. Een NVON-enquête wijst op 50% onvoldoende cijfers en een CITO-enquête op 48% [48]. Toch zijn de leraren niet echt ontevreden over het nivo van het werk.

De korte proef is ook door de havo leerlingen (108) goed gemaakt (tabel 34).

Tabel 34: Statistische verwerking korte proef havo  
N = 108

onderdeel	max. score	gem. score	stand. deviatie	korr. HC	korr. SO	korr. CSE
HC1	5	4,037	1,004	0,64	0,14	0,12
2	7	4,435	1,682	0,87	0,16	0,10
3	3	2,250	0,908	0,47	0,04	0,13
totaal	15	10,722	2,531	—	0,18	0,16

Vergelijken we tabel 34 en tabel 32 met elkaar dan blijkt er erg veel overeenkomst te zijn. De gemiddelde scores van de havo- en vwo-leerlingen zijn vrijwel gelijk. Ook de korrelatiecoëfficiënten vertonen hetzelfde beeld.

### Kanonieke korrelatierekening vwo

Voor kanonieke korrelatierekening is een aantal groepen variabelen vastge-

steld. Een groep variabelen bestaat uit onderdelen waarin dezelfde vaardigheden worden getoetst. In tabel 35 zijn de vaardigheden omschreven en de bijbehorende variabelen weergegeven.

*Tabel 35: Groepen variabelen voor kanonieke correlatierekening vwo*

groep	omschrijving vaardigheid	variabelen
1	algemeen fysische kennis en inzicht	SO, CSE
2	meten en metingen vastleggen	A23,B23
3	grafiek tekenen	A5b,B5,B6b
4	berekenen	A4,A8,B7,B8
5	grafiek interpreteren	A9,B9
6	berekenen en verklaren	A789,B789
7	handelingen verrichten	C1,C2,C3

Het resultaat van kanonieke correlatierekening met de 7 groepen uit tabel 35 is gegeven in tabel 36. De opzet van deze tabel is hetzelfde als die van tabel 10.

*Tabel 36: Kanonieke correlatiecoëfficiënten vwo met overschrijdingskansen*

groep	1 algemeen	2 meten	3 grafiek	4 berekenen	5 interpr. graf.	6 verklaren
2	0,24 - 0,331					
3	0,31 - 0,224	0,35 + 0,045				
4	0,36 - 0,223	0,46 + 0,007	0,44 + 0,043			
5	0,40 + 0,004	0,19 - 0,545	0,23 - 0,637	0,50 + 0,003		
6	0,44 + 0,002	0,31 + 0,028	0,26 - 0,321	0,89 + 0,000	0,76 + 0,000	
7	0,32 + 0,033	0,22 - 0,460	0,38 - 0,159	0,54 + 0,003	0,27 - 0,239	0,39 + 0,005

De groepen onderdelen die betrekking hebben op vaardigheden samenhangend met (theoretisch) fysisch inzicht (4, 5 en 6) hebben onderling een grote kanonieke korrelatiecoëfficiënt. Dit wordt mede veroorzaakt doordat groep 6 de groepen 4 en 5 (gedeeltelijk) overlapt. Twee van deze groepen hebben een significante kanonieke korrelatie met de groep van de SO-en CSE-cijfers. De overige kanonieke korrelatiecoëfficiënten zijn in het algemeen niet groot en vaak niet significant. Opmerkelijk is de wel significante kanonieke korrelatiecoëfficiënt van de onderdelen van proef C met 'algemeen fysische kennis en inzicht', 'berekenen' en 'berekenen en verklaren' en de niet significante korrelatiecoëfficiënt met de andere uitvoeringsvaardigheden.

### Kanonieke korrelatierekening havo

Ook voor havo is kanonieke korrelatierekening uitgevoerd met een aantal groepen variabelen (tabel 37).

Tabel 37: Groepen variabelen voor kanonieke korrelatierekening havo

groep	omschrijving vaardigheid	variabelen
I	algemeen fysische kennis en inzicht	SO, CSE
II	meten en metingen vastleggen	HA234,HB12
III	grafiek tekenen	HA5, A7,HB3
IV	berekenen	HA6,A8ab,HB5
V	grafiek interpreteren/verklaren	HA8c,HB4, B6b
VI	schakeling maken/uitvoering proef	HA5,HB4
VII	handelingen verrichten	HC1, C2, C3

Het resultaat van kanonieke korrelatierekening is samengevat in tabel 38. Opvallend in de tabel is het grote aantal niet significante kanonieke korrelaties. De SO- en CSE-cijfers vertonen alleen een significante korrelatie met de groepen variabelen die betrekking hebben op (theoretisch) fysisch inzicht (groepen IV en V). De drie groepen met experimenteervaardigheden (II, VI en VII) laten met de andere groepen vrijwel geen significante korrelaties zien. Het 'grafiek tekenen' heeft geen significante korrelatie met enige andere vaardigheid. De vaardigheden 'berekenen' en 'grafiek interpreteren/verklaren' hebben wel een significante kanonieke korrelatie met elkaar. Dit is niet verwonderlijk omdat de berekeningen die uitgevoerd moeten worden ook samenhangen met de voorafgaande grafieken in de toets. Evenals bij het vwo is ook bij het havo de kanonieke korrelatie tussen de onderdelen van proef C en de onderdelen 'berekenen' tegen verwachting significant.



Tabel 38: Kanonieke correlatiecoëfficiënten havo met overschrijdingskansen

groep	I algemeen	II meten	III grafiek	IV berekenen	V interpr. graf.	VI uitvoeren
II	0,20 - 0,250					
III	0,27 - 0,211	0,27 - 0,247				
IV	0,55 + 0,000	0,28 - 0,139	0,16 - 0,792			
V	0,58 + 0,000	0,16 - 0,817	0,17 - 0,748	0,53 + 0,000		
VI	0,27 - 0,078	0,35 + 0,006	0,27 - 0,190	0,23 - 0,358	0,16 - 0,803	
VII	0,19 - 0,382	0,27 - 0,125	0,19 - 0,617	0,36 + 0,008	0,29 - 0,416	0,28 - 0,196

### 'Principal factor' analyse vwo

De zes uitgevoerde analyses voor het vwo staan weergegeven in tabel 39. (Voor de indeling zie tabel 12.)

Tabel 39: 'Principal factor' analyses vwo

N	m	p	% l	% p	variabelen
1	15	5	21,2	61,4	A1,2,3,4,5,6,7,8,9ab, B1,23,5,6b,8,9
2	17	6	21,1	65,9	idem met SO en CSE
3	16	6	20,3	64,9	A1,2,3,5,7,8,9ab, B1,23,5,6b,8,9, C1,2,3
4	18	7	20,3	68,8	idem met SO en CSE
5	9	3	25,2	54,5	A23,56,78,9ab, B1,23,56b,789, C123
6	11	4	26,3	63,0	idem met SO en CSE

Steeds is ook de varimax rotatie methode toegepast. Interpretatie van factoren die steeds terugkeren levert de volgende omschrijvingen op:

*a. meten en metingen vastleggen.*

Deze faktor wordt bepaald door hoge waarden van de faktorladingen op de onderdelen A2,3 en B2,3. De faktor is vrijwel steeds de eerste zowel zonder rotatie als na varimax.

*b. berekenen en verklaren.*

Een bij alle analyses terugkerende faktor is 'berekenen en verklaren' die bepaald wordt door de onderdelen A7,8,9 en B7,8,9. Dit is ook na varimax rotatie steeds de tweede of derde faktor.

*c. grafiek tekenen.*

Bij deze faktor, die bepaald wordt door de onderdelen A5,6 en B5,6b zijn de ladingen van de A-onderdelen meestal het grootst.

*d. algemeen fysische kennis en inzicht.*

Deze faktor wordt bepaald door de SO- en CSE-resultaten te bekijken. De faktor komt bij analyse van deze vwo-toets alleen als zodanig herkenbaar voor als de SO- en CSE-cijfers als variabelen meedoen. Vrijwel steeds is de faktorlading van het SO groter dan die van het CSE. Gezien de faktorladingen van de andere variabelen heeft deze faktor soms een theoretisch tintje (sommige uitwerkingsonderdelen van de toetsen skoren dan hoog, met name uit A7,8,9 en B7,8,9) soms een praktisch tintje (sommige uitvoeringsonderdelen skoren hoog, zoals A23).

*e. handelingen verrichten.*

Deze faktor wordt bepaald door hoge faktorladingen op de uitvoeringsonderdelen van toetsen A en B en op toets C. Soms kan deze faktor gedetailleerder omschreven worden als 'schakeling maken/opstelling bouwen' bepaald door B1 en C1 (23). In andere gevallen skoren bovendien de onderdelen A2,3 en B2,3 hoog.

Vergelijking met kanonieke korrelatierekening levert goede overeenkomst. De groepen 4, 5 en 6 (tabel 35) vallen bij faktoranalyse samen. Bij kanonieke korrelatierekening werd dit samenvallen ook al opgemerkt. De overige intuïtief samengestelde groepen bij kanonieke korrelatierekening handhaven zich ook bij 'faktoranalyse'.

### 'Principal factor' analyse havo

Ook voor het havo zijn zes analyses uitgevoerd (tabel 40), waarbij ook varimax rotatie is toegepast.

Interpretatie van de factoren levert de volgende omschrijvingen:

*1. algemeen (theoretisch) fysische kennis en inzicht.*

Deze faktor wordt bepaald door hoge skores op de SO- en CSE-resultaten. Bovendien wordt steeds hoog geskoord door de onderdelen HB4,5 en HA8. Dit zijn onderdelen waarin berekeningen uitgevoerd of verklaringen gege-

Tabel 40: 'Principal factor' analyses havo

N	m	p	% l	% p	variabelen
I	11	5	19,6	61,3	HA1,234,5,6,8ab,8c, HB1,3,4,5bc,6b
II	13	5	24,2	60,5	idem met SO en CSE
III	14	5	15,6	54,5	idem I met HC1,2,3
IV	16	5	19,9	54,4	idem met SO en CSE
V	8	3	22,2	55,1	HA234,5,8ab, HB1,3,4,5, HC123
VI	10	3	28,3	54,8	idem met SO en CSE

ven moeten worden. De faktor heeft dus een theoretisch tintje.

### 2. berekenen en verklaren.

Deze faktor die bij alle analyses voorkomt wordt bepaald door de onderdelen HA6,8 en HB4,5. De faktor is meestal de eerste als SO en CSE niet meedoen. Behoren de SO- en CSE-resultaten wel tot de variabelen dan wordt de faktor 'berekenen en verklaren' opgenomen in de eerder genoemde faktor 'algemeen (theoretisch) fysische kennis en inzicht'. In een aantal gevallen splitst de faktor zich naar de HA- respektievelijk HB-onderdelen.

### 3. meten en metingen vastleggen in tabel en grafiek.

Deze faktor komt eveneens bij alle analyses voor en wordt bepaald door HA234,5 en HB1,3. In de faktor kunnen we twee factoren, te weten 'meten en metingen vastleggen' en 'grafiek tekenen' herkennen. De twee vaardigheden komen ook in gescheiden factoren voor, bepaald door de onderdelen HA234 en HB1 respektievelijk HA5 en HB3.

### 4. handelingen verrichten.

De faktor 'handelingen verrichten' wordt bepaald door de onderdelen van de proef HC, soms in combinatie met B1.

Vergelijking met kanonieke korrelatierekening levert goede overeenkomst. SO en CSE (groep I) combineert met berekenen en verklaren (groepen IV en V). De laatste twee groepen worden door 'faktoranalyse' niet onderscheiden. De groep handelingen verrichten vormt een aparte faktor. De groepen II en III komen bij 'faktoranalyse' gescheiden of gekombineerd voor.

## Korte enquête onder de leerlingen

Direkt nadat de leerlingen klaar waren met de uitwerking van de twee proeven hebben zij een aantal korte vragen beantwoord (appendix V-14). De

vragen werden mondeling gesteld door speciaal geïnstrueerde enquêteurs. De vragen bleken door de leerlingen gemakkelijk en kort te beantwoorden overeenkomstig de ervaring met een vragenlijst op één school gedurende de vorige cursus (hoofdstuk 9). De vragen (behalve vraag 12) zijn door 96 vwo-leerlingen van vier scholen en door 106 havo-leerlingen van eveneens vier scholen beantwoord. Omdat niet alle leerlingen de korte proef gedaan hebben is vraag 12 beantwoord door 46 vwo- en 57 havo-leerlingen. De antwoorden op de vragen konden door de enquêteurs gemakkelijk weergegeven worden door te turven in een tabel met een driepuntsschaal. De codering van de antwoorden is vermeld in tabel 41.

Tabel 41: Kodering antwoorden op enquêtevragen

vraag	1	2	3
1	mee	ging wel/weet niet	tegen
2	goed	normaal/ging wel/weet niet	slecht
3	ja	misschien wel/niet	neen
4	leuk	normaal/ging wel	niet leuk
5	meer	goed zo	minder
6	ja	geen mening	neen
7	A/HB	even moeilijk/geen mening	B/HA
8	ja	geen mening	neen
9	te veel	goed zo	te weinig
10	A/HB	even moeilijk/geen mening	B/HA
11	ja	geen mening	neen
12	gemakkelijk	normaal/ging wel	moeilijk

Een overzicht van de resultaten van de enquête gehouden onder de havo- en vwo-kandidaten staat in tabel 42. In de tabel staat in elk vakje het aantal leerlingen in %.

Gezien de antwoorden op vragen 1 en 2 viel het praktisch schoolonderzoek bij de groep vwo-leerlingen beter dan bij de groep havo-leerlingen. Bekijken we echter de skores (tabel 33) dan valt dit ook voor de havo-leerlingen nog best mee. Slechts enkele leerlingen waren zenuwachtiger bij dit praktikumschoolonderzoek (vraag 3). In het algemeen was het oordeel van de leerlingen over de proeven niet ongunstig. Men vond ze leuk of naar verwachting (vraag 4) en men vond de tekst meestal voldoende duidelijk (vraag 6). In het algemeen is men wel voor méér proeven met minder nadruk op de uitwerking (vraag 5). Zowel bij het vwo als bij het havo wordt de elektriciteitsproef wat uitvoering betreft het moeilijkst gevonden (vraag 7). De leerlingen kijken toch kennelijk te zwaar aan tegen het maken van een elek-

Tabel 42: Resultaten enquête onder eindexamenkandidaten  
(in de kolommen staat het aantal leerlingen in %)

vraag	vwo (N = 96)			havo (N = 106)		
	1	2	3	1	2	3
1	52	17	31	18	19	63
2	25	43	32	9	36	55
3	11	5	83	11	8	80
4	41	48	11	64	32	4
5	50	40	10	81	15	4
6	83	8	8	67	11	22
7	23	26	51	24	15	61
8	50	10	40	39	7	55
9	6	41	53	4	53	43
10	41	20	40	23	17	60
11	83	3	14	86	3	11
12	89	11	0	56	23	21

trische schakeling gezien het feit dit toch te weinig puntenaftrek veroorzaakt heeft. De havo-leerlingen vonden ook de uitwerking van de elektriciteitsproef het moeilijkst. Bij het vwo is dit niet het geval (vraag 10). Bij de uitvoering van de proef heeft men meer met tijdgebrek te kampen gehad dan bij de uitwerking (vragen 8 en 11). Er zijn maar weinig leerlingen die vonden dat ze te veel praktikum hebben gehad gedurende de afgelopen jaren. Meestal is men van oordeel: voldoende of te weinig (vraag 9). De korte proef werd door geen van de geënquêteerde vwo-kandidaten moeilijk gevonden. Bij de havo-leerlingen is dat iets ongunstiger (vraag 12). De meningen van de leerlingen verschillen in een aantal opzichten van school tot school sterk. Zo vonden vrijwel alle leerlingen op een school waar veel praktikum in de eindexamenklas gedaan is de twee toetsen aan de gemakkelijke kant. Zij verwachtten dan ook meestal dat ze het praktisch schoolonderzoek goed gemaakt hadden. Zij vonden de proeven naar verwachting en op vraag 9 gaven zij het antwoord dat ze voldoende of zelfs te veel praktikum hadden gehad. Anders is het gesteld met de leerlingen van een school waar in de bovenbouw weinig praktikum is gedaan. Het praktisch schoolonderzoek is hun vaak tegengevallen, maar zij vonden toch de proeven dikwijls leuk. Zij kwamen ook vaker in tijdnood tijdens de uitvoering dan leerlingen met meer praktikumervaring. Uiteraard vonden zij dat ze te weinig praktikum hadden gehad. Aan sommige leerlingen is ook naar aanleiding van vraag 9 gevraagd hoeveel praktikum zij zinvol vonden. Meestal is het antwoord gegeven: één uur per week in alle bovenbouwklassen. Ook de organisatie van het praktikum schoolonderzoek verliep op de scholen waar veel praktikum gedaan wordt beter dan op de andere scholen. Het wisselen

van de groepen verliep ordelijker. Doordat er minder ingegrepen behoefde te worden was er ook minder geloop van leraren tijdens de uitvoering. Bovendien was ook het optreden van leraren door meer ervaring in het begeleiden bij praktikum rustiger.

## Konklusies

Analyse van de twee praktikumtoetsen voor havo en vwo leverde evenals in het voorafgaande jaar op dat praktikumvaardigheden onderscheiden kunnen worden van vaardigheden die ook schriftelijk toetsbaar zijn. Op onderdelen die betrekking hebben op uitvoering van het experiment wordt in het algemeen hoger geskoord en de korrelatiekoefficienten van de scores met de SO- respektievelijk CSE-cijfers zijn meestal lager in vergelijking met onderdelen die betrekking hebben op de uitwerking. Met behulp van kanonieke korrelatierekening en 'faktoranalyse' blijkt het mogelijk de praktikumvaardigheden te differentiëren naar 'meten en metingen vastleggen' en 'handelingen verrichten', terwijl in de uitwerkingsvaardigheden herkend kunnen worden: 'berekenen en verklaren' en 'grafiek tekenen'. Zelfs een iets meer gedetailleerde onderverdeling blijkt mogelijk. De toetsen zijn homogeen opgebouwd en ze zijn door de leerlingen goed gemaakt. De leerlingen oordeelden positief over deze manier van toetsen en ze hadden in het algemeen voldoende tijd voor uitvoering en uitwerking. Ook de leraren waren tevreden. De proeven waren van goede kwaliteit en de bezwaren tegen de proeven van de vorige kursus waren volledig weggenomen. Hoewel beoordeling van gedetailleerde praktikumvaardigheden door middel van de korte proef goed mogelijk bleek blijft toch een aantal leraren bezwaren aanvoeren tegen het toetsen van afzonderlijke praktikumvaardigheden. De korte proef is vooral door vwo-leerlingen beoordeeld als te gemakkelijk. Zij hebben in het algemeen niet begrepen dat dit wat het kognitieve aspekt betreft juist de bedoeling was.

## Hoofdstuk 12

### RESULTATEN VAN HET ONDERZOEK, KONKLUSIES EN AANBEVELINGEN

*Ik vond er stukken in, die ik wel niet  
alle begreep, maar die werkelijk kennis  
van zaken aantoonden.*

*Multatuli*

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de resultaten van het onderzoek zoals dat in de voorgaande hoofdstukken beschreven is. Op grond van deze resultaten worden konklusies getrokken en konkluderende uitspraken gedaan. De konklusies en konkluderende uitspraken, korthedshalve konklusies genoemd, kunnen ook betrekking hebben op niet in dit hoofdstuk vermelde resultaten van en ervaringen tijdens het onderzoek. Deze konklusies leiden in het algemeen tot aanbevelingen voor de organisatie en inrichting van praktikum schoolonderzoek natuurkunde op havo- en vwo-scholen.

#### Betekenis van het samenwerkingsverband voor de leraren

Vanaf het begin van het onderzoek (kursus 1978/79) hebben vijf van de zeven scholen van het samenwerkingsverband geheel of gedeeltelijk deelgenomen. Het laatste jaar (kursus 1981/82) heeft ook een zesde school voor het eerst meegedraaid. Meestal zijn de gegevens van de eindexamenkandidaten van vier à vijf scholen in het onderzoek verwerkt. In het eerste jaar zijn toetsen gemaakt waarin naast praktische problemen tweederde deel van de examenstof getoetst werd. In de jaren daarop is het praktische gedeelte van het schoolonderzoek losgekoppeld van de schriftelijke toetsing van de examenstof. Dit laatste werd dus door de scholen zelf buiten het samenwerkingsverband om geregeld.

Vooraf in het eerste en tweede jaar waren er nog uitgebreide discussies over definitieve vorm en inhoud van de praktische toetsen maar in de loop van het onderzoek bleek een gemeenschappelijke visie te groeien met betrekking tot praktische toetsing zodat de laatste toetsen zeer efficiënt tot stand gekomen zijn. De realisatie op de scholen verliep op soortgelijke wijze. Gedurende de cursus 1978/79 is de demonstratie-apparatuur voor de proeven voor een belangrijk deel door ons verzorgd. In de jaren daarop zijn de amnueses op de scholen in toenemende mate ingeschakeld bij het maken van de opstellingen. In steeds sterkere mate kon een beroep gedaan worden op hun inventiviteit en zelfstandigheid.

Het praktisch gedeelte van het schoolonderzoek kon op de scholen steeds

gemakkelijker ingepast worden in het schoolonderzoekstelsel en de uiteindelijke organisatie verliep steeds soepeler in het bijzonder bij de natuurkundeleraren die van begin af aan meegedaan hebben. Mede dank zij de opgedane ervaring zal het voor hen geen probleem meer zijn om praktisch schoolonderzoek met eigen aksenten op hun school uit te voeren. Natuurlijk blijven ideeën voor proeven welkom. Er is daarom afgesproken dat in de komende jaren nog toetsen in ruwe vorm ontwikkeld zullen worden in het kader van het samenwerkingsverband.

#### *Konklusies*

Met het type praktische toetsen dat ontwikkeld is hebben leraren en amantenses geen problemen.

De praktische toetsen hebben een zodanige vorm en inhoud dat realisatie op scholen mogelijk is.

### **Cijfers schoolonderzoek en centraal schriftelijk examen**

In hoofdstuk 5 is het vooronderzoek beschreven dat tot doel had na te gaan of er sprake is van systematische verschillen tussen de cijfers voor het schoolonderzoek en die voor het centraal schriftelijk examen natuurkunde. Dit vooronderzoek is uitgevoerd gedurende de cursus 1977/78 met de cijfers van 250 havo- en 360 vwo-leerlingen van de zeven scholen van het samenwerkingsverband. In de jaren daarop zijn de SO- en CSE-cijfers van de leerlingen die gegevens voor het onderzoek geleverd hebben steeds opnieuw bekeken door berekening van gemiddelden en korrelatiekoefficienten. Een overzicht is voor havo en vwo gegeven in tabel 43.

*Tabel 43: Vergelijking SO- en CSE-cijfers voor natuurkunde*

kursus	VWO				HAVO			
	N	gem. SO	gem. CSE	korr.	N	gem. SO	gem. CSE	korr.
1977/78	360	6,5	6,5	0,74	250	6,4	6,5	0,66
1978/79	88	6,4	6,1	0,72	53	6,2	6,4	0,56
1979/80	96	6,5	6,5	0,70	—	—	—	—
1980/81	229	6,3	6,0	0,74	102	5,8	5,8	0,66
1981/82	140	7,1	5,7	0,73	209	6,3	5,3	0,74

Uit de tabel blijkt de goede overeenstemming tussen de gemiddelde SO- en CSE-cijfers zoals ook al opgemerkt is in hoofdstuk 5. Het grotere verschil tussen de gemiddelde SO- en CSE-cijfers voor beide schooltypen in de cursus 1981/82 is verklaarbaar op grond van de moeilijkheidsgraad van het



centraal schriftelijk werk. Wanneer de gemiddelde cijfers voor het centraal schriftelijk examen landelijk [133] en binnen het samenwerkingsverband met elkaar vergeleken worden dan blijkt ook daar grote overeenstemming (tabel 44).

Tabel 44: Vergelijking CSE-cijfers landelijk en binnen het samenwerkingsverband

kursus	VWO		HAVO	
	samenw.	landelijk	samenw.	landelijk
1977/78	6,5	6,4	6,5	6,4
1978/79	6,1	6,5	6,4	6,2
1979/80	6,5	6,4	—	5,8
1980/81	6,0	6,3	5,8	5,9
1981/82	5,7	5,9	5,3	5,5

Deze goede overeenstemming bevestigt de uitspraak dat de groep scholen van het samenwerkingsverband gezien kan worden als een goede doorsnee van de scholen in Nederland.

De korrelatiecoëfficiënten tussen SO- en CSE-resultaten blijken steeds groot te zijn, voor vwo steeds groter dan 0,7, voor havo iets lager. De standaarddeviatie in de SO-cijfers is meestal 1,0, die in de CSE-cijfers is meestal iets groter (1,1 à 1,2). Alleen in 1982 bleek de standaarddeviatie in de CSE-cijfers voor havo en voor vwo duidelijk groter (respektievelijk 1,4 en 1,5). Het centraal schriftelijk werk diskrimineerde dus sterker dan in de voorafgaande jaren.

### *Konklusies*

Wanneer de kwaliteit van het CSE volgens de leraren natuurkunde goed is dan is er geen sprake van systematische verschillen tussen de SO- en CSE-cijfers.

De betrouwbaarheid van het SO-cijfer is groter omdat het cijfer gebaseerd is op veel toetsen op verschillende toetsmomenten.

Het SO-cijfer heeft een grotere validiteit als eindexamencijfer omdat tijdens het schoolonderzoek meer doelstellingen van het natuurkundeonderwijs getoetst worden.

Gedurende de kursussen 1980/81 en 1981/82 zijn van de leerlingen die gegevens met betrekking tot het praktikum schoolonderzoek geleverd hebben ook de eindexamencijfers van enkele andere vakken verzameld. De eindexamenresultaten voor vwo zijn vermeld in tabel 45 en die voor havo in tabel 46.

Tabel 45: Eindexamenresultaten vwo

Vak	1980/81				1981/82			
	N	gem.SO	gem.CSE	gem.Eind	N	gem.SO	gem. CSE	gem.Eind
natuurkunde	229	6,3	6,0	6,2	140	7,0	5,7	6,4
wiskunde I	229	6,8	6,2	6,5	140	6,7	5,9	6,3
scheikunde	197	6,5	6,9	6,7	107	6,6	6,6	6,6
biologie	168	6,9	6,6	6,8	93	7,0	6,7	6,8
nederlands	229	6,7	6,5	6,6	140	6,7	6,4	6,5

Tabel 46: Eindexamenresultaten havo

Vak	1980/81				1981/82			
	N	gem.SO	gem.CSE	gem.Eind	N	gem.SO	gem. CSE	gem.Eind
natuurkunde	102	5,8	5,8	5,8	209	6,3	5,3	5,8
wiskunde	102	5,9	6,5	6,2	209	6,1	5,6	5,9
scheikunde	72	6,6	6,9	6,8	150	6,4	6,8	6,6
biologie	50	6,6	6,4	6,5	115	6,4	6,6	6,5
nederlands	102	6,6	6,5	6,5	209	6,4	6,4	6,4

Ook de eindexamenresultaten van de andere vakken vertonen geen veront- rustend beeld. De gemiddelde SO- en CSE-cijfers komen in het algemeen goed overeen. Ook de korrelatiecoëfficiënten, in de tabel niet vermeld, zijn meestal groter dan 0,6 behalve voor het vak nederlands waar in het SO en CSE verschillende onderdelen van het vak getoetst worden. Bekijk- ken we de gemiddelde eindcijfers voor de examenvakken dan valt op dat het eindcijfer voor natuurkunde op een enkele uitzondering na het laagst is. De moeilijkheidsgraad van het vak natuurkunde ten opzichte van ande- re vakken blijkt niet alleen uit de eindexamencijfers maar ook uit de resul- taten van enquêtes onder leerlingen [33].

### *Konklusies*

De hiervoor genoemde konklusies voor natuurkunde gelden ook voor enke- le andere eindexamenvakken.

Natuurkunde is blijkens de eindexamencijfers een moeilijk vak.

### **De kwaliteit van de praktische toetsen**

Objektieve uitspraken over de kwaliteit van de ontwikkelde toetsen kun- nen gedaan worden door analyses met behulp van doelstellingenlijsten en

door statistische analyses van scores van leerlingen. Aan beide methoden wil ik hier enige aandacht besteden zonder opnieuw gedetailleerd in te gaan op de criteria die van belang waren bij de konstruktie van de praktische toetsen (hoofdstuk 5).

Analyse van toetsen met de taxonomieën van Bloom en Klopfer (hoofdstuk 3) levert op dat bij praktische toetsen in het algemeen meer categorieën aan bod komen dan bij schriftelijke toetsen het geval is. Volgens Auer [7] werden bij de schriftelijke havo-examens in de jaren 1968 t/m 1972 geen vragen gesteld uit de categorieën analyse, synthese of evaluatie van Bloom. Bij praktische toetsen komen deze categorieën wel aan de orde. Duidelijker is het verschil tussen schriftelijke en praktische toetsen aan te geven met de taxonomie van Klopfer. Auer constateert dat bij dezelfde havo-examens de categorieën 'waarnemen en meten', 'een probleem zien en wegen zoeken om het op te lossen' en 'konstruktie, toetsing en herziening van een model' in het geheel niet voorkomen en 'gegevens interpreteren en generalisaties formuleren en toepassen' slechts sporadisch. Bij praktische toetsen kunnen deze categorieën wel goed ingebouwd worden. De ontwikkelde toetsen zijn daar voorbeelden van.

Vergelijking van de gemiddelde scores op het praktisch gedeelte van het schoolonderzoek met de gemiddelde eindexamencijfers van de afgelopen jaren levert in het algemeen goede overeenstemming (tabel 47).

Tabel 47: Vergelijking praktische toetsen en eindexamens

kursus	VWO		HAVO	
	prakt.	eind.	prakt.	eind
1978/79	5,8	6,3	4,5	6,3
1979/80	6,6	6,5	—	—
1980/81	6,5	6,2	5,9	5,8
1981/82	7,7	6,4	7,2	5,8

In de cursus 1978/79 waren de praktische toetsen voor havo te moeilijk (hoofdstuk 7) en in de cursus 1981/82 waren de praktische toetsen zowel voor havo als voor vwo aan de gemakkelijke kant terwijl het te moeilijke CSE de eindexamencijfers omlaag haalde (hoofdstuk 11).

Gezien het skoreverloop blijkt de opbouw van de ontwikkelde toetsen goed te zijn: van gemakkelijk naar moeilijk. De  $r_{it}$ -waarden wijzen op een redelijk homogene opbouw van de toetsen. De korrelatiekoefficiënten van de onderdelen met de SO- respektievelijk de CSE-cijfers zijn vaak niet signifikant positief maar nooit signifikant negatief. De korrelatiekoefficiënten van de toetsen als geheel met de SO- respektievelijk de CSE-cijfers zijn vrij-

wel steeds significant positief. De validiteit van de toetsen lijkt goed. Er komen veel praktische vaardigheden aan de orde die zich, zoals we verderop in dit hoofdstuk samengevat zullen zien, onderscheiden van schriftelijke toetsbare vaardigheden. De waarden van de standaarddeviaties op de toetsen als geheel wijzen op een voldoende diskriminerend vermogen. De relatieve standaarddeviatie is ongeveer gelijk aan die van de SO- en CSE-cijfers. De toetsen blijken tamelijk objectief beoordeelbaar dank zij duidelijke scoringsvoorschriften. Een uitzondering vormt de beoordeling van uitvoeringsvaardigheden bij de proeven waarbij een groep van 4 à 6 leerlingen tegelijk individueel bezig zijn met experimenteren. Objectieve beoordeling van gedetailleerde uitvoeringsvaardigheden blijkt wel goed mogelijk bij de z.g. korte proeven waarbij gewerkt wordt met een leerlingenblad en een korrektieblad (hoofdstukken 10 en 11). Volgens Kruglak [77] en Eglen en Kempa [42] neemt de beoordelaarsbetrouwbaarheid van praktikumtoetsen toe wanneer gewerkt wordt met gedetailleerde korrektiebladen. Volgens onze waarneming was de beoordelaarsbetrouwbaarheid van de vragen die schriftelijk beantwoord zijn goed hetgeen blijkt uit de overeenstemming in beoordeling door de docent enerzijds en door ons als onafhankelijke beoordelaars anderzijds. De betrouwbaarheidscoëfficiënt van de toetsen kan berekend worden met de Kuder-Richardson-formule [52, 53]. De betrouwbaarheidscoëfficiënt van een toets hangt evenals de  $r_{it}$ -waarden van de onderdelen van een toets samen met de homogeniteit van de toets. Bij het samenstellen van de toetsen is er juist naar gestreefd dat in de onderdelen 'niet hetzelfde gemeten wordt' hetgeen in tegenspraak is met een hoge betrouwbaarheidscoëfficiënt. Daarom is de betrouwbaarheidscoëfficiënt geen goede maat voor de kwaliteit van de toetsen. Berekening van deze coëfficiënt heeft daarom niet voor alle toetsen plaatsgevonden. Door docenten en leerlingen zijn ook subjektieve uitspraken gedaan over de kwaliteit van de toetsen. De leraren toonden in toenemende mate hun tevredenheid over de ontwikkelde toetsen. Hun op- en aanmerkingen naar aanleiding van voorafgaande toetsen werden in de volgende toetsen steeds verwerkt. Bovendien kregen zij steeds meer ervaring met deze (nieuwe) manier van toetsen. Ook de leerlingen waren in het algemeen goed te spreken over de kwaliteit van de toetsen ondanks het feit dat de voorbereiding op het praktikumschoolonderzoek vaak te gering was (hoofdstukken 9 en 11). Zowel leraren als leerlingen zijn van mening dat er ruim voldoende tijd moet zijn om de proeven uit te voeren en uit te werken.

### *Konklusies*

Bij praktische toetsen worden meer doelstellingen van het natuurkunde-onderwijs getoetst dan bij schriftelijke toetsen.

De betrouwbaarheid en de validiteit van de ontwikkelde toetsen is goed.

De beoordeelbaarheid van praktische toetsen wordt, evenals van schriftelijke toetsen, vergroot door te werken met gedetailleerde korrektiebladen.

Men dient zich goed rekenschap te geven van de tijd die leerlingen nodig hebben voor de uitvoering en uitwerking van een praktische toets.

## Onderscheid tussen praktische en schriftelijke toetsen

In hoofdstuk 3 is aangegeven dat lijsten met specifieke praktikumvaardigheden het meest in aanmerking komen bij de synthese en analyse van praktikumtoetsen. In dit onderzoek is gebruik gemaakt van de CITO-lijst. Slechts bij toetsing van vaardigheden die betrekking hebben op de uitvoering van een experiment is apparatuur noodzakelijk. De overige vaardigheden behorend bij experimenteel werk volgens de CITO-lijst kunnen in principe alle schriftelijk zonder apparatuur getoetst worden. Van de uitvoeringsvaardigheden, onderverdeeld in:

B1 handelingen uitvoeren met benodigheden,

B2 waarnemingen doen,

B3 aantekeningen maken,

B4 handelingen/waarnemingen onder vermelding van redenen herhalen of aanvullen,

is bij de categorie B3 contact met de apparatuur door de leerlingen helemaal niet nodig en bij de categorie B2 slechts ten dele. De hiervoor bedoelde vaardigheden kunnen getoetst worden door middel van een demonstratietoets (hoofdstuk 7). De overige vaardigheden van categorie B komen bij praktikumtoetsen aan de orde (hoofdstukken 8 t/m 11).

Bekijken we de scores op de onderdelen van de toetsen waarin vaardigheden van categorie B getoetst worden dan blijken deze scores in het algemeen hoger te zijn dan op de overige onderdelen. De totale relatieve score op de uitvoeringsonderdelen bij elke proef (hoofdstukken 7 t/m 11) ligt tussen 0,50 en 0,87. De hoogste scores komen voor bij die proeven waarvan de uitvoering voornamelijk bestaat uit het verkrijgen van een meetserie terwijl het manipuleren met apparatuur niet gedetailleerd beoordeeld wordt (voorbeelden: proef B voor vwo en proef HB voor havo gedurende de cursus 1981/82). De laagste scores komen voor bij proeven met veel meer uitvoeringsvaardigheden dan het verkrijgen van een meetserie (voorbeeld: proef HB voor havo gedurende de cursus 1980/81) zeker wanneer het manipuleren gedetailleerd beoordeeld wordt (voorbeeld: proef HD voor havo gedurende de cursus 1980/81). Dat bij praktische toetsing in het algemeen hoger geskoord wordt dan bij schriftelijke toetsing volgt ook uit het feit dat het praktikum schoolonderzoek in 1978 landelijk minder onvoldoenden opleverde dan het CSE (hoofdstuk 1).

Een tweede verschil tussen de uitvoerings- en andere vaardigheden behorend bij experimenteel werk volgens de CITO-lijst vinden we wanneer de korrelatiecoëfficiënten tussen de SO- en CSE-cijfers enerzijds en de scores op onderdelen of groepen onderdelen anderzijds bekeken worden:

1. de korrelatiecoëfficiënten van uitvoeringsonderdelen zijn in het algemeen lager dan die van andere onderdelen (hoofdstukken 8, 9, 11).
2. de korrelatiecoëfficiënten van de uitvoering als geheel zijn in het algemeen lager dan die van voorbereiding, uitwerking of verantwoording van

verrichtingen en resultaten.

3. de korrelatiecoëfficiënten van de toetsen als geheel worden kleiner naarmate ze meer toegespitst zijn op de uitvoering van het experiment. De korrelatiecoëfficiënten van de 'theorie en demonstratie'toetsen liggen rond 0,60 (1978/79), van toetsen waarbij de uitvoering ongeveer voor de helft opgenomen is rond 0,35 (1979/80, 1980/81 en 1981/82) en van toetsen met alleen uitvoering rond 0,20 (Hertog Jan College in 1980/81 en de korte proef in 1981/82).

De kleine korrelatiecoëfficiënt tussen praktische en schriftelijke toetsen zijn ook gevonden door de Amerikaan Kruglak [77, 78, 79]. Ook in Engeland waar de leerlingen bij het eindexamen zowel praktisch als schriftelijk getoetst worden vindt men geringe samenhang tussen de cijfers voor praktische en schriftelijke toetsen.

In Engeland worden de natuurkunde eindexamenkandidaten op een aantal aspecten van fysische kennis, inzicht en vaardigheden getest. Zo bestaat het 18<sup>+</sup> A-level examen vanaf 1977 uit vier onderdelen [35]:

paper 1: een meerkeuzetoets,

paper 2: kort- en lang-antwoord vragen,

paper 3: fysische tekstverklaringen en uitwerking van een reëel experiment aan de hand van meetgegevens,

paper 4: een praktikumproef.

Zoals Fairbrother [46] opmerkt kunnen de prestaties van een leerling op de verschillende examenonderdelen verschillen. Lage waarden van de korrelatiecoëfficiënten tussen de scores op twee onderdelen wijzen erop dat deze twee onderdelen verschillende aspecten van de fysika toetsen. Fairbrother vindt bij de Nuffield A-level examens van 1973 (6 onderdelen) steeds een vrij konstante korrelatiecoëfficiënt van rond 0,60 tussen twee onderdelen van het examen. Alleen de korrelatiecoëfficiënt van 'investigation' met de overige onderdelen is lager (rond 0,40).

De Australiërs Patterson en Prescott [102] vergelijken cijfers voor praktikum met theorievraagstukken. De cijfers voor praktikum worden verkregen na een individuele ondervraging over proeven die een student met een partner uitgevoerd heeft. Het gemiddelde cijfer voor praktikum blijkt hoger te zijn dan het gemiddelde cijfer voor theorie. Bovendien blijkt de spreiding in de cijfers voor praktikum geringer en de korrelatiecoëfficiënt tussen beide cijfers is betrekkelijk klein (0,40).

Ook voor de andere natuurwetenschappen scheikunde [138] en biologie [104] wordt een lage waarde van de korrelatiecoëfficiënt (0,30 en 0,40) gevonden tussen praktische en schriftelijke toetsen.

### *Konklusies*

Bij een praktische toets scoren leerlingen op uitvoeringsvaardigheden gemiddeld hoger dan op uitwerkingsvaardigheden.

De korrelatiecoëfficiënten van de scores op uitvoeringsvaardigheden met

de SO- of CSE-cijfers zijn kleiner dan die van de scores op de uitwerkingsvaardigheden.

Bij praktische toetsen worden andere aspecten van de fysika getoetst dan bij schriftelijke toetsen.

### **Onderscheid tussen doelstellingen van het natuurkundeonderwijs in het bijzonder van praktikum**

Dynon en Kempa [40] hebben korrelatiekoefficienten tussen de scores op vier vaardigheden behorend bij experimenteel werk onderling bepaald. De korrelatiekoefficienten tussen manipulation, observation, interpretation en planning onderling blijken weliswaar significant maar toch klein te zijn. Zij vermoeden dat dit erop wijst dat de betreffende vaardigheden te onderscheiden zijn.

Ben-Zvi, Hofstein, Samuel en Kempa [11] hebben faktoranalyse toegepast op de scores van 233 high school leerlingen in Israël (gemiddelde leeftijd 15 jaar) voor een aantal speciaal ontwikkelde toetsen (voor scheikunde). Zij vinden vijf verschillende factoren:

1. cognitive-intellectual ability,
2. problem-solving ability,
3. routine manipulative skills,
4. observational skills,
5. attitudes and interests (an affective factor).

In de hiervoor liggende hoofdstukken is besproken op welke wijze gezocht is naar onderscheid tussen doelstellingen van het natuurkunde-onderwijs. Er is gebruik gemaakt van kanonieke korrelatierekening en hoofdkomponentenanalyse (principal factor analysis). In het algemeen blijken de intuïtief samengestelde groepen variabelen waarin dezelfde doelstelling getoetst wordt goed overeen te komen met de groepen variabelen waarop de faktorladingen behorend bij één faktor hoog zijn. In die gevallen levert interpretatie van de factoren geen problemen op. Slechts bij enkele analyses konden minder dan drie factoren geïnterpreteerd worden. Op alle analyses is de toets van Anderson (hoofdstuk 6) toegepast. In meer dan 50% van de gevallen toont deze toets aan dat drie of meer factoren significant zijn. Generalisatie van uitspraken op grond van de steekproef is dan mogelijk. In de overige gevallen vinden we vrijwel steeds bij herhaling dezelfde factoren als bij omliggende analyses van dezelfde toets. Ondanks het negatieve resultaat met de toets van Anderson kunnen we toch het resultaat van deze analyses zien als een bevestiging van de interpretatie bij omliggende analyses van dezelfde toets.

Toepassing van kanonieke korrelatierekening en principal factor analysis heeft tot meer onderscheid tussen vaardigheden geleid dan alleen het onderscheid tussen praktische toetsen en schriftelijk werk (tussen uitvoering en uitwerking van het experiment). Hier volgt een overzicht van de te on-

derscheiden doelstellingen van het natuurkunde-onderwijs speciaal die welke samenhangen met experimenteel werk:

a. *algemeen (theoretisch) fysische kennis, inzicht en vaardigheden.*

Deze doelstelling wordt speciaal getoetst door het SO en het CSE. Ook bij theorieopgaven toetsen veel onderdelen deze doelstelling, zeker wanneer een aantal wordt samengenomen. Bij praktische toetsen geldt hetzelfde met betrekking tot 'voorbereiding van het experiment', 'verantwoording van verrichtingen en resultaten' en gedeeltelijk ook voor 'bewerking van de waarnemingen'. Naarmate de toetsen praktischer van aard zijn d.w.z. meer toegespitst op de uitvoering van het experiment hebben minder onderdelen betrekking op toetsing van deze doelstelling a. De kanonieke korrelatiecoëfficiënten tussen SO- en CSE-cijfers enerzijds en groepen onderdelen anderzijds zijn dan vaak niet significant en de faktorladingen van onderdelen op de faktor die deze doelstelling bepaalt zijn dan klein. De faktor treedt bij praktikumtoetsen vaak alleen op als de SO- en CSE-cijfers meedoen.

b. *kennis en inzicht in een theoretisch fysisch probleem.*

Deze doelstelling wordt speciaal getoetst door middel van de theorieopgaven (hoofdstuk 7). Bij de vwo-kandidaten kan verder nog onderscheid gemaakt worden tussen 'standaardkennis en inzicht in een theoretisch fysisch probleem' en '(dieper) inzicht in een theoretisch fysisch probleem'. Bij de havo-kandidaten is dat niet het geval. Ook het verschil in doelstelling a en doelstelling b is dan nog nauwelijks aanwezig.

c. *uitvoering van het experiment.*

Om vaardigheden met betrekking tot de uitvoering van het experiment te toetsen is een experimentele opstelling noodzakelijk. Afhankelijk van de variatie in de opdrachten kunnen met kanonieke korrelatierekening en principal factor analysis één of meer uitvoeringsvaardigheden onderscheiden worden:

c1. *handelingen verrichten, opstelling bouwen.*

Deze doelstelling kan door middel van de twee gebruikte multivariate analyse-methoden onderscheiden worden bij de toetsen voor havo en vwo in 1981 (hoofdstuk 9) en bij de toetsen voor havo en vwo in 1982 (hoofdstuk 11). De doelstelling kan alleen getoetst worden wanneer beoordeling plaatsvindt tijdens de uitvoering van het experiment.

c2. *metingen verrichten en vastleggen.*

Deze doelstelling kan onderscheiden worden bij de demonstratietoetsen voor havo en vwo (hoofdstuk 7) en voor de praktikumtoetsen voor vwo in 1980, 1981 en 1982 (hoofdstukken 8, 9 en 11) en voor havo in 1981 en 1982 (hoofdstukken 9 en 11).

In een aantal gevallen moeten de leerlingen behalve metingen verrichten en vastleggen ook nog een beschrijving geven van waar te nemen verschijnselen (onderdelen HB3 en HD4 in 1981). Er lijkt enig onderscheid te zijn tussen het alleen maar opnemen en vastleggen van een meetserie en het opnemen en vastleggen van een meetserie waarbij tevens kritisch gelet moet worden op onverwachte bijverschijnselen. De beoordeling



van de doelstelling kan plaatsvinden tijdens de uitvoering van het experiment maar ook achteraf aan de hand van de schriftelijke vastlegging. Bij de drie korte proeven van het Hertog Jan College (hoofdstuk 10), waarin zeer gedetailleerd uitvoeringsvaardigheden worden getoetst, leveren de twee multivariate analysemethoden geen duidelijk onderscheid tussen meer dan de hierboven genoemde vaardigheden. Een vaardigheid als 'afleesvaardigheden toepassen' (B24 in de CITO-lijst) die bij de korte proeven meermalen beoordeeld wordt leek met principal factor analysis niet één faktor maar zoveel factoren op te leveren als er meetapparaten voorkomen in de toetsen. Ook de korte proef voor havo en vwo in 1982 levert geen duidelijkheid over gedetailleerder onderscheid tussen uitvoeringsvaardigheden. De samenhang van onderdelen binnen één proef blijkt groter te zijn dan de samenhang van onderdelen die dezelfde vaardigheden toetsen.

*d. uitwerking van het experiment.*

Om vaardigheden met betrekking tot de uitwerking van het experiment of bewerking van de waarnemingen te toetsen is in principe een meetopstelling overbodig. De waarnemingen kunnen verstrekt worden en de uitwerking kan schriftelijk gebeuren zonder dat de leerlingen zelfs de meetopstelling gezien hebben. Toch zijn een aantal uitwerkingsopdrachten gekoppeld aan het experiment. Zo is het vastleggen van een meetserie in een grafiek een vaardigheid die direkt samenhangt met experimenteel werk. In iets mindere mate is dit het geval voor de interpretatie van grafieken, berekeningen uitvoeren en verklaringen geven. In de uitwerking van het experiment kunnen met behulp van de twee multivariate analysemethoden de volgende vaardigheden onderscheiden worden.

*d1. grafiek tekenen.*

Deze vaardigheid kan bij alle praktikumtoetsen onderscheiden worden. Bij de vwo toetsen in 1980 is het zelfs mogelijk gedetailleerder onderscheid te vinden tussen:

*d11. grafiek opzetten*

*d12. verband grafisch weergeven*

De samenhang van de doelstelling grafiek tekenen met experimenteel werk blijkt uit het volgende:

- bij een aantal 'principal factor' analyses zijn de faktorladingen van onderdelen die betrekking hebben op grafiek tekenen en de faktorladingen van onderdelen die betrekking hebben op uitvoering van het experiment, speciaal het verzamelen van meetgegevens, op dezelfde faktor hoog (o.a. havo 1982).
- de kanonieke korrelatiecoëfficiënt tussen de onderdelen grafiek tekenen en SO/CSE is een aantal malen niet significant en de coëfficiënt tussen onderdelen grafiek en uitvoeringsonderdelen wel.

*d2. inzicht in een experimenteel fysisch probleem.*

Deze doelstelling wordt getoetst door de overige opdrachten van de uitwerking van het experiment. Hieronder vallen vaardigheden als grafieken interpreteren, berekeningen uitvoeren, verklaringen geven en konklusies trekken. Bij enkele proeven is enig onderscheid aan te geven

tussen deze vaardigheden. Het is echter te incidenteel om hieruit konklusies te kunnen trekken. De onderdelen waarin deze doelstelling getoetst wordt hebben vaak een significante kanonieke korrelatie met SO/CSE. Doelstelling d2 is dus vergelijkbaar met doelstelling b. Het verschil met doelstelling b is de relatie met het experiment. De problemen die in de uitwerking van het experiment gesteld worden hebben betrekking op het experiment, vragen inzicht in het experiment. Dit wordt enigszins bevestigd door de incidenteel optredende significante kanonieke korrelatie tussen uitvoeringsonderdelen en uitwerkingsonderdelen (afgezien van grafiek tekenen).

Vergelijking met de eerder genoemde door faktoranalyse gevonden vaardigheden van Ben-Zvi e.a. levert in vier gevallen goede overeenstemming.

1. cognitive-intellectual ability is te vergelijken met algemeen (theoretisch) fysische kennis en inzicht (a);
2. problem-solving ability, in verband met het experiment, met inzicht in een experimenteel fysisch probleem (d2);
3. routine manipulative skills met handelingen verrichten, opstelling bouwen (c1);
4. observational skills met metingen verrichten en vastleggen (c2).

### *Konklusies*

Het is mogelijk doelstellingen van het natuurkunde-onderwijs door middel van statistische analyses van skores te onderscheiden.

Toepassing van kanonieke korrelatierekening en hoofdkomponentenanalyse leidt tot meer onderscheid tussen vaardigheden dan alleen het onderscheid tussen praktische toetsen en schriftelijk werk.

In de toetsen van het onderzoek kunnen de volgende doelstellingen onderscheiden worden:

- a. algemeen (theoretisch) fysische kennis, inzicht en vaardigheden;
- b. kennis en inzicht in een theoretisch fysisch probleem;
  - b1. standaardkennis,
  - b2. dieper inzicht.
- c. uitvoering van het experiment;
  - c1. handelingen verrichten, opstelling bouwen,
  - c2. metingen verrichten en vastleggen.
- d. uitwerking van het experiment.
  - d1. grafiek tekenen,
    - d11. grafiek opzetten,
    - d12. verband grafisch weergeven.
  - d2. inzicht in een experimenteel fysisch probleem.

Van deze doelstellingen zijn c1 en c2 alleen toetsbaar door middel van praktische toetsen.

Doelstellingen d1 en d2 kunnen het best getoetst worden door middel van praktische toetsen.

Met de ontwikkelde praktikumtoetsen, zelfs met de korte proeven, is het niet mogelijk gebleken gedetailleerder vaardigheden te onderscheiden.

## Toetsing van praktikumdoelstellingen door middel van praktische toetsen

Doelstellingen van het natuurkunde-onderwijs die betrekking hebben op de uitvoering van het experiment kunnen alleen maar getoetst worden door middel van praktische toetsen. In iets mindere mate lijkt praktische toetsing noodzakelijk van doelstellingen die betrekking hebben op de uitwerking van het experiment. Uit de analyses blijkt echter dat de uitwerkingsvaardigheden 'grafiek tekenen' en 'inzicht in een experimenteel fysisch probleem' vaak gekoppeld zijn aan de uitvoering. Toetsing van uitwerkingsvaardigheden zonder voorafgaand experiment levert in het algemeen omvangrijke vraagstukken op. Men moet niet alleen meetgegevens verstrekken maar ook een duidelijke beschrijving geven van de proefopstelling en de bijkomende verschijnselen. Het gevolg hiervan is dat de leerlingen een lange leestekst moeten doorworstelen om de opdrachten te kunnen uitvoeren. Vragen die betrekking hebben op de eigen ervaring van de leerling met het experiment kunnen niet gesteld worden.

Om bovengenoemde redenen dient een praktische toets bij voorkeur te bestaan uit een uitvoerings- en een uitwerkingsgedeelte, die een grote samenhang met elkaar hebben. Hoewel de praktikumtoets in hoge mate voorkeur verdient is toch de demonstratietoets een veel beter alternatief dan een vraagstuk over een proef vooral wanneer er mogelijkheden zijn om de leerlingen dicht bij de demonstratieappartuur te halen. Bij een demonstratietoets kan een aantal wezenlijke aspecten van praktikum echter niet getoetst worden zoals handelingen uitvoeren met benodigheden, creativiteit en zelf beslissingen nemen. De opdrachten van de uitwerking zullen daarom ook anders getint zijn dan bij praktikumtoetsen.

Praktikumtoetsen bieden mogelijkheden om uitvoeringsvaardigheden te toetsen. In welke mate dit gebeurt hangt niet alleen samen met de variatie in opdrachten maar ook met beschikbaarheid van beoordelaars tijdens de uitvoering van de proef.

- Bij afwezigheid van beoordelaars tijdens de uitvoering kan alleen beoordeeld worden aan de hand van het door de leerlingen gemaakte schriftelijk werk.  
Op welke wijze dit werk samenhangt met de handelingen die uitgevoerd zijn kan in het algemeen niet beoordeeld worden.
- Bij geringe beschikbaarheid van beoordelaars kan slechts beoordeling plaatsvinden van enkele globale uitvoeringsvaardigheden zoals opstelling bouwen of schakeling maken (dit wordt gecontroleerd). Bovendien kan beoordeling plaatsvinden op grond van de verstrekte hulp aan leerlingen tijdens het experimenteren.
- Bij voldoende beschikbaarheid van beoordelaars kan gedetailleerde beoordeling plaatsvinden van praktikumvaardigheden. In dat geval is gebruik van een tevoren opgesteld scoringsvoorschrift zeer aan te bevelen. Zoals al eerder in dit hoofdstuk is opgemerkt verhoogt een dergelijk sko-

ringsvoorschrift de beoordelaarsbetrouwbaarheid. Er dient zorgvuldig overwogen te worden hoeveel kandidaten tegelijk gedetailleerd beoordeeld kunnen worden.

Wanneer tijdens de uitvoering van de proef metingen verricht moeten worden is het voor de uitwerking vaak van belang dat de leerlingen de beschikking hebben over bruikbare meetresultaten. Er kan dan zodanig een goede meetserie verstrekt worden.

In het geval dat er geen of onvoldoende mogelijkheden zijn voor beoordeling tijdens de uitvoering kunnen daarbij behorende vaardigheden gedetailleerd getoetst worden door middel van korte uitvoeringsopdrachten (hoofdstukken 10 en 11). Bij deze opdrachten wordt gewerkt met een leerlingenblad en een docentenblad waarop nauwkeurige scoringsvoorschriften staan. Doorgeven van informatie over de korte toets speelt een geringere rol naarmate het cognitieve karakter van de toets minder is [77]. De organisatie van korte toetsen wordt dan dus ook eenvoudiger. Als bezwaar tegen de korte proeven kan aangevoerd worden: het geheel is meer dan de som der afzonderlijke delen. Hetzelfde bezwaar geldt ook voor toetsing van alleen uitwerkingsvaardigheden, gerelateerd aan het experiment, zoals Liley, Osborne en Pepper [84] voorstaan. Zij laten leerlingen tijdens praktijk waarnemingen verzamelen in een waarnemingenboek. Door een schriftelijke toets daarna waarbij de leerlingen aan de hand van vragen hun waarnemingen moeten verwerken worden zij beoordeeld.

### *Konklusies*

Een praktische toets dient bij voorkeur te bestaan uit een uitvoerings- en een uitwerkingsgedeelte.

De praktikumtoets is het meest geschikt om uitvoerings- en uitwerkingsvaardigheden te toetsen.

Gedetailleerde beoordeling van uitvoeringsvaardigheden vereist voldoende beoordelaars en gedetailleerde scoringsvoorschriften.

Gedetailleerde beoordeling van uitvoeringsvaardigheden kan separaat plaatsvinden met korte proeven.

### **Praktikum in het schoolonderzoek**

Er zijn veel mogelijkheden om praktikum in het schoolonderzoek op te nemen. In hoofdstuk 2 wordt een aantal van deze mogelijkheden beschreven waarbij de docent een belangrijke rol speelt. Hij komt steeds met andere toetsmethoden. Mislukking ten koste van de leerlingen is vrijwel niet mogelijk omdat rekening gehouden wordt met hun belangen. Maar voortdurende verandering van methode vereist wel inventiviteit en originaliteit en kost bovendien veel tijd. Men blijft experimenteren en zoeken naar een ideale toetsmethode die een zeer persoonlijk karakter kan hebben.

In het onderzoek is een toetsvorm voor praktikum gevonden die een wat

meer objectief karakter heeft en waarmee in principe elke docent kan werken.

Het is zeker niet mijn bedoeling de naar hartelust experimenterende leraar natuurkunde af te remmen bij het nemen van steeds nieuwe initiatieven als hij maar weet dat hij fouten kan maken. Het is juist mijn bedoeling om de docent die zoekt naar een verantwoorde toetsvorm die hij op zijn school wil en kan realiseren te helpen bij het maken van een bewuste keuze. Uiteraard blijft ook eigen inventiviteit en originaliteit in mindere of meerdere mate noodzakelijk. Zo kan men een schriftelijke toets of repetitie samenstellen door bestaande vragen en vraagstukken op te nemen, door varianten te maken van bestaande vragen en vraagstukken of door zelf nieuwe te ontwerpen. Het laatste kost in het algemeen meer tijd maar het resultaat zal voor de leerlingen hetzelfde zijn wanneer we ervan uitgaan dat de samenstelling van de toets en de correctie daarna deskundig en volgens daarvoor staande regels verloopt [72]. Pas veel later zal misschien een enkele leerling ontdekken hoe origineel een docent destijds zijn repetities samenstelde. Op een vergelijkbare wijze als de samenstelling van een schriftelijke toets kan ook de samenstelling van praktische toets verlopen.

In de paragraaf hiervoor zijn op grond van de resultaten van het onderzoek aanbevelingen gedaan met betrekking tot de vorm van de praktische toetsen. De variatie van vaardigheden die getoetst kunnen worden hangt samen met het onderwerp van de proef. Bij de synthese en analyse van een praktische toets is de CITO-lijst goed bruikbaar.

Naast praktische toetsen waarbij leerlingen individueel en tamelijk objectief getoetst worden kunnen nog andere toetsvormen in het schoolonderzoek ingebouwd worden waarbij andere aspecten van experimenteel werk getoetst worden zoals het maken van een verslag, het samenwerken bij een projekt, enz.

Praktikum in de bovenbouw waarbij leerlingen in groepjes van twee of meer samenwerken is, het zij nogmaals opgemerkt, geen goede voorbereiding op de praktische toetsing waarbij leerlingen individueel werken. Natuurlijk kan men de leerlingen nadrukkelijk wijzen op het belang van wisseling in taakverdeling, maar men dient hen ook bijtijds kennis te laten maken met de vorm van toetsen in het schoolonderzoek. Naast praktikum is het dus wenselijk de leerlingen vanaf het begin in de bovenbouw (ook in de onderbouw zijn er veel mogelijkheden om praktische opgaven in een repetitie op te nemen) te confronteren met praktische toetsen waarvan de demonstratietoets het gemakkelijkst te organiseren is.

### *Konklusies*

Er zijn veel mogelijkheden om praktikum in het schoolonderzoek op te nemen.

Na ervaring opgedaan te hebben is het samenstellen van een praktische toets vergelijkbaar met het samenstellen van een repetitie.

Leerlingen dienen voorbereid te worden op het praktikum schoolonderzoek.

## De CITO-doelstellingenlijst

Bij de synthese en analyse van de praktische toetsen is vanaf de cursus 1979/80 gebruik gemaakt van de CITO-lijst. Op grond van ervaringen en onderzoeksresultaten is het mogelijk uitspraken te doen over de bruikbaarheid en het gebruik van deze lijst.

1. De vaardigheden van de CITO-lijst die behoren tot categorie A en een gedeelte van de vaardigheden die behoren tot categorieën C en D kunnen niet onderscheiden worden van schriftelijk toetsbare vaardigheden. Deze vaardigheden van de CITO-lijst kunnen dus gemakkelijker schriftelijk getoetst worden. Toetsing van deze vaardigheden bij het experiment levert onnodig organisatorische problemen op.
2. De uitwerkingsvaardigheden bij de ontwikkelde praktische toetsen blijken een (gering) onderscheid te hebben met schriftelijk toetsbare vaardigheden. De vaardigheden behorend tot de categorieën C en D die direct aansluiten op de uitvoering van het experiment kunnen zoals aangetoond is heel zinvol getoetst worden bij praktische toetsen. Het betreft de vaardigheden 'grafiek tekenen' en 'inzicht in een experimenteel fysische situatie'.
3. Bij de samenstelling van de toetsen bleek in sommige gevallen een te grote gedetailleerdheid van de CITO-lijst. In één onderdeel wordt in die gevallen meer dan één vaardigheid van de lijst getoetst. De opdracht 'lees de ampèremeter af' is onbeoordeelbaar als de leerling z'n waarneming niet op één of andere manier kenbaar maakt. Pas als hij z'n waarneming mondeling of schriftelijk weergeeft blijkt of hij het juiste schaalbereik gekozen heeft (B241), geïnterpoleerd heeft tussen schaaldelen (B242), zich gehoed heeft voor overbodige nauwkeurigheid (B252) en het juiste aantal cijfers genoteerd heeft (B331).
4. Bij de analyse van de korte toetsen bleek de CITO-lijst niet gedetailleerd genoeg. De vaardigheden van de CITO-lijst zijn niet onderwerp-gebonden, terwijl de analyse van de korte proeven aanwijzingen geeft dat dit vaak wel het geval is.  
De Bruijn [17] besteedt in zijn voorschriften om praktikumtoetsen te konstrueren speciaal aandacht aan de gebruikte apparatuur. Er zijn grote verschillen in gekompliceerdheid van meetapparatuur voor een leerling die de opdracht krijgt om afleesvaardigheden toe te passen (B24 in de CITO-lijst).
5. Bij de analyse van praktikumtoetsen met de CITO-lijst blijkt een aantal opdrachten samenhangend met experimenteel werk moeilijk of niet geklassificeerd te kunnen worden. In verschillende stadia van de uitwerking moeten bij de toetsen verklaringen gegeven, berekeningen uitgevoerd en formules afgeleid worden. Wanneer men deze vaardigheden tracht in te delen in categorieën C en D van de lijst dan blijkt de opbouw van het experiment (met uitwerking) niet overeen te komen met de opbouw van de CITO-lijst. In categorie D komt wel voor 'waarnemingen verklaren (D22)' maar niet 'berekeningen uitvoeren'.

### *Konklusies*

De CITO-lijst is meer gebaseerd op intuïtie en ervaring dan op onderzoek. Ondanks een aantal onvolkomenheden is de lijst goed bruikbaar bij synthese en analyse van praktische toetsen.

### **Praktikum schoolonderzoek in het eindexamenprogramma**

De invoering van een verplicht praktikum schoolonderzoek natuurkunde op een moment dat praktikum in de bovenbouw zeker nog geen regel was heeft veel leraren voor problemen geplaatst. De formulering in het examenprogramma op welke wijze het praktikum in het schoolonderzoek opgenomen dient te worden is vaag en onduidelijk (hoofdstuk 4). Ook het geherformuleerde programma (hoofdstuk 4) geeft niet meer klaarheid omdat, zoals in hoofdstuk 5 opgemerkt wordt,

- het niet duidelijk is op welke wijze getoetst kan worden,
- het niet duidelijk is welke vaardigheden getoetst kunnen worden.

In de voorafgaande paragrafen zijn inmiddels antwoorden op deze vragen geformuleerd. Op grond hiervan is het mogelijk een verantwoorde formulering te geven van de vaardigheden die betrekking hebben op praktikum schoolonderzoek. Evenals in het bestaande en geherformuleerde programma wil ik geen onderscheid maken tussen havo- en vwo-leerlingen. Ook de enquête onder havo- en vwo-docenten over de vaardigheden van de CITO-lijst (hoofdstuk 3) toont aan dat er geen grote verschillen bestaan in actueel geldende doelstellingen tussen havo en vwo. Een eenvoudige formulering zou kunnen zijn:

Bij het praktisch gedeelte van het schoolonderzoek wordt van de havo- en vwo-kandidaten verwacht dat zij:

1. een experimentele opstelling kunnen maken.
2. meetinstrumenten kunnen hanteren, waarnemingen kunnen doen en deze kunnen noteren.
3. meetresultaten grafisch kunnen weergeven.
4. experimentele resultaten en grafieken verder kunnen uitwerken.

Deze doelstellingen zijn alle vier aanwezig in de ontwikkelde praktikumtoetsen van 1981 en 1982 (hoofdstukken 9 en 11). De eerste twee doelstellingen hebben betrekking op de uitvoering van het experiment, de laatste twee op de uitwerking.

Bij *doelstelling 1* wordt getoetst of de kandidaat naar aanleiding van een probleemstelling, beschrijving of afbeelding een experimentele opstelling (of schakeling) kan maken. Daarbij kunnen handelingen zoals 'nulinstelling kontroleren' of 'veiligheidsmaatregelen treffen' noodzakelijk zijn. Deze doelstelling is vergelijkbaar met 'handelingen uitvoeren met benodigheden (B1)' van de CITO-lijst.

Bij *doelstelling 2* wordt getoetst of de kandidaat de meetinstrumenten kan hanteren en waarnemingen kan doen daarbij rekening houdend met de be-

nodigde nauwkeurigheid. Aan de hand van handelingen zoals het kiezen van het juiste schaalbereik en vastlegging van de waarnemingen kan deze doelstelling beoordeeld worden. Vergelijk deze doelstelling met 'waarnemingen doen (B2)' en 'aantekeningen maken (B3)' en de CITO-lijst.

Bij *doelstelling 3* wordt getoetst of de kandidaat op grond van meetgegevens relaties tussen fysische grootheden kan weergeven in een grafiek. Vergelijk dit met 'diagrammen maken van verbanden tussen grootheden met behulp van gemeten of berekende waarden (C12)' van de CITO-lijst.

Bij *doelstelling 4* wordt getoetst of de kandidaat grafieken kan interpreteren, berekeningen kan uitvoeren, verklaringen kan geven en konklusies kan trekken naar aanleiding van het experiment. Vergelijk deze doelstelling met 'bewerking van de waarnemingen (C)' en 'verantwoording van verrichtingen en resultaten (D)' van de CITO-lijst, voorzover er een duidelijke relatie is met het experiment.

Omdat praktikum een verplicht onderdeel van het schoolonderzoek is dienen de genoemde vier doelstellingen alle in het schoolonderzoek getoetst te worden. De aanbevolen toetsvorm is de praktikumtoets zoals deze in voorafgaande paragrafen besproken is. Echter ook andere vormen zijn mogelijk zoals gewoon praktikum of groepswork met een individueel verslag of een schriftelijke toetsing daarna. Hoewel van de eindexamenkandidaten verwacht mag worden dat zij een verslag kunnen maken van een uitgevoerd experiment zou ik verplichte toetsing hiervan in het schoolonderzoek niet willen adviseren (voor argumentatie zie hoofdstuk 2). In de lijst vaardigheden van het eindexamenprogramma zou dus (zonder verplichting tot toetsing) opgenomen kunnen worden:

Bij het praktisch gedeelte van het schoolonderzoek wordt van de havo- en vwo-kandidaten verwacht dat zij:

5. in staat zijn te rapporteren over het experiment.

De niet in de 'vijf doelstellingen' genoemde vaardigheden, die betrekking hebben op experimenteel werk, zijn al voor een belangrijk gedeelte verwerkt in de lijst vaardigheden van het eindexamenprogramma. Deze vaardigheden kunnen 'zij het soms met veel kunst en vliegwerk (hoofdstuk 4)' schriftelijk getoetst worden. Toetsing van deze vaardigheden in samenhang met het experiment heeft echter veel voordeel.

### *Konklusies*

In het eindexamenprogramma natuurkunde is een eenvoudige formulering mogelijk van de vaardigheden die bij het praktisch schoolonderzoek getoetst moeten worden.

Deze formulering is gebaseerd op de resultaten van dit onderzoek.

Er bestaan veel mogelijkheden om praktikum in het schoolonderzoek op te nemen maar de praktikumtoets kan sterk aanbevolen worden.



## Slotwoord

Dit onderzoek heeft zich beperkt tot het praktikum schoolonderzoek natuurkunde op havo- en vwo-scholen. In het kader van het onderzoek zijn praktische toetsen ontwikkeld, gerealiseerd en geanalyseerd. Het onderzoek had tot doel de natuurkundeleraren meer duidelijkheid te geven voor de inrichting van hun praktikum schoolonderzoek.

De resultaten van het onderzoek zijn ook bruikbaar voor anderen die gebruik maken of willen maken van toetsmethoden om praktikum te evalueren.

De resultaten zijn van toepassing op natuurkunde maar in veel gevallen vertaalbaar naar de verwante vakken scheikunde en biologie en naar technische vakken.

In de loop van het onderzoek hebben zich nieuwe onderzoeksvragen aangediend. Sommige vragen hangen samen met praktikum in de bovenbouw voorafgaande aan het praktikum schoolonderzoek, andere hebben betrekking op de consequenties van praktikum in de bovenbouw. Ik wil geen uitgebreide lijst laten staan volledige opsomming geven maar volstaan met het noemen van enkele vragen:

- In hoeverre levert praktikum een bijdrage aan de cognitieve ontwikkeling van de leerling?
- Wat zijn de affectieve effecten van praktisch werk?
- In welke mate is de mening van de leerlingen over de moeilijkheidsgraad van het vak natuurkunde afhankelijk van praktikum in het bovenbouw-kurrikulum?
- Heeft de manier waarop of de mate waarin praktikum gedaan wordt invloed op de studiekeuze?
- In hoeverre is de invloed van praktikum in de bovenbouw merkbaar bij voortgezette opleidingen?

Verder wil ik verwijzen naar een rapport van Hofstein en Lunetta [62], die niet alleen een uitgebreid overzicht geven van de resultaten van onderzoek naar de functie van praktikum maar ook suggesties geven voor verder onderzoek.

## LITERATUURLIJST

1. **Van Aalst**  
Hoeveel ruimte kan een goed examen aan het onderwijs geven?  
Verslag van de conferentie Woudschoten 1977.
2. **Agterberg**  
Verslag van besprekingen in de natuurkundekringen over de eindexamenprogramma's natuurkunde voor havo en vwo  
NVON-mededelingenblad 1, 6-13 (1976).
3. **Alonso, Finn**  
Fundamentele Natuurkunde. Deel 1: Mechanica  
Agon Elsevier, Amsterdam 1971.
4. **Anderson**  
An introduction to multivariate statistical analysis  
John Wiley & Sons, New York 1958.
5. **Anderson**  
Asymptotic theory for principal component analysis  
Annals of Mathematical statistics 34, 122 (1963).
6. **Auer**  
Het schoolonderzoek als proeftuin  
Vernieuwing van onderwijs en opvoeding febr. 1971, blz. 258.
7. **Auer**  
Scheidende wegen  
Muusses, Purmerend 1973.
8. **Auer**  
Evaluatie: zekerheden en twijfels  
Verslag van de conferentie Woudschoten 1974.
9. **Auer, Heykoop, Steller**  
Het schoolonderzoek natuurkunde bij het havo  
Faraday 40, 259 (1971).
10. **Ausubel**  
Educational Psychology  
Holt Rinehart and Winston, New York 1968.
11. **Ben-Zwi, Hofstein, Samuel, Kempa**  
Modus of instruction in high school chemistry.  
J. of Res. in Science Teaching 14, 433 (1977).
12. **Van den Berg**  
Het praktikum: onderwijs in onderzoek  
Faraday 48, 204 (1979).
13. **Bloom e.a.**  
Taxonomy of educational objectives  
Handbook I: Cognitive domain, Mac Kay, New York 1956.
14. **Bouma**  
De rol van practicum bij natuuronderwijs  
Faraday 50, 102 (1981).
15. **Bouwhuis**  
Dertig practicumproeven bovenbouw havo-vwo  
Vakgroep didactiek Natuurkunde VU, Amsterdam 1979.

16. **Broekman**  
Psychometrische aspecten van de meerkeuzetoets  
Verslag van de Woudschotenkonferentie 1974.
17. **De Bruijn**  
Praktikum-toetsen  
Rapport WMW 90/77/292 Technische Hogeschool Twente (1977).
18. **Buckley, Kempa**  
Student preferences for different methods of assessing practical work in chemistry  
School Science Review 54, 157 (1972).
19. **Cito-medewerkers**  
Circustoets handleiding en proeven  
CITO, Arnhem.
20. **CITO-medewerkers**  
Lijst van vaardigheden verbonden aan experimenteel werk (practicum) bij Natuurkunde, ter beoordeling toegestuurd aan docenten natuurkunde 1979.
21. **Commissie modernisering leerplan natuurkunde**  
Interimrapport vwo-bovenbouw 1969.
22. **Commissie modernisering leerplan natuurkunde**  
Interimrapport havo-bovenbouw 1969.
23. **Commissie modernisering leerplan natuurkunde**  
Rapport 1974.
24. **Commissie Modernisering Leerplan Natuurkunde**  
Natuurkundeprogramma's en aansluitingsproblemen  
Verslag van enquêtes onder natuurkundedocenten in het mavo, havo, vwo, mto, hto en wo (1978).
25. **Commissie schoolonderzoek havo**  
Verslag 1973.
26. **Commissie vwo-havo-mavo**  
publicatie 18 deel 7  
Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage 1972.
27. **Commissie vwo, havo, mavo**  
De mammoet-experimenten vwo, havo, mavo  
Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage 1974.
28. **Commissie van Velines**  
Interpretatie 'Definitief programma eindexamen natuurkunde voor het havo'  
Zie Faraday 44, 30 (1974).
29. **Cooley, Lohnes**  
Multivariate procedures for the behavioral sciences  
John Wiley & Sons, New York 1962.
30. **De Corte e.a.**  
Beknopte didaxologie  
Wolters Noordhoff, Groningen 1974.
31. **Didaktiek natuurkunde U.v.A., R.U.U., R.U.G. en PLON**  
Vwo-bovenbouw, voortgangsrapport 1980.
32. **Didaktiek natuurkunde V.U.**  
Toepasbaarheid van Taxonomieën, Amsterdam 1976.

33. **Didaktiek natuurkunde R.U.U.**  
Voorlopige rapportage van de resultaten van een inventarisatie-onderzoek naar de mogelijke oorzaken en achtergronden van de relatief slechte resultaten van het centraal schriftelijk eindexamen natuurkunde op het vwo in 1974 en 1975.  
Utrecht 1976.
34. **Didaktiek natuurkunde R.U.U.**  
Experimenten met radioactieve bronnen en röntgenstralen (1977).
35. **Dimes, Hecker**  
The new London A-level physics syllabus  
Phys. Education 12, 27 (1977).
36. **Doelstellingencommissie**  
Herformulering examenprogramma natuurkunde voor havo en vwo  
Enschede 1982.
37. **Van Doorn, Verkerk**  
Bepaling van  $\epsilon_0$   
Faraday 49, 24 (1980).
38. **Van Doorn**  
Demonstratie-experimenten  
Stageverslag THE 1979.
39. **Van Driel**  
Enige factor-analytische technieken, toegepast op examenresultaten  
Proefschrift, Rotterdam 1975.
40. **Dynon, Kempa**  
Teacher-based assessment of practical work in sixth-form physics  
Phys. Ed. 12, 364 (1977).
41. **Dyson, Cobb**  
An electronic switch for the determination of the absolute permittivity of air or space  
Physics Education 10, 98 (1975).
42. **Eglen, Kempa**  
Assessing manipulative skills in practical chemistry  
School Science Review 56, 261 (1974).
43. **Ellermeijer, Verkerk**  
Verslag enquête natuurkunde havo-vwo (1), (2) en (3).  
NVON-mededelingenblad 4, 7-20 (1979)  
4, 10-29 (1979)  
5, 1-30 (1980)
44. **Van Elsen**  
Werkgroep eindexamens natuurkunde  
Faraday 47, 231 (1978).
45. **Bruno Ernst e.a.**  
Zender en ontvanger volgens Hertz  
Archimedes 10, 60 (1973).
46. **Fairbrother**  
Profiles in examinations  
Phys. Education 12, 29 (1977).
47. **Ferguson**  
Statistical Analysis in Psychology and Education  
McGraw-Hill, London 1959.

48. **Van Galen**  
Verslag centraal schriftelijk examen natuurkunde havo 1982  
NVON-mededelingenblad 7, 7-27 (1982).
49. **Gardner**  
Relativiteitstheorie voor iedereen  
Prisma 1197, Het Spectrum, Utrecht.
50. **Van de Geer**  
Inleiding in de multivariate analyse  
Van Loghum Slaterus, Arnhem 1967.
51. **Groeneveld, Wolf**  
Experimentelle Reifungsaufgaben für Physik  
Köln 1964.
52. **Gronlund**  
Measurement and Evaluation in Teaching  
McMillan Company, New York 1965.
53. **De Groot, van Naerssen**  
Studietoetsen, construeren, afnemen, analyseren  
Mouton, Den Haag 1969.
54. **Haber-Schaim, Cross, Dodge, Walter**  
PSSC Physics, Laboratory guide  
Heath and Company, Lexington 1971.
55. **Harman**  
Modern factor analysis  
The University of Chicago press, Chicago 1967.
56. **Heimel**  
De nieuwe eindexamenprogramma's natuurkunde  
NVON-mededelingenblad 1, 1-15 (1975).
57. **Heimel**  
De commissie eindexamenprogramma's mavo, havo, vwo  
NVON-mededelingenblad 1, 9-17 (1976).
58. **Heise, De Graaff**  
Relativiteitstheorie  
Natuur en Techniek 41 nr. 3, 4, 5, 7 (1973).
59. **Hellingman**  
A trial of objectives of experimental work in science education  
Eur. J. of Sci. Ed. 4, 29 (1982).
60. **Hey e.a.**  
Ioniserende stralen projekt  
Verslag van de conferentie Woudschoten 1976.
61. **Hillebrand, Heierling**  
Feldeffekttransistoren in analogen und digitalen schaltungen  
Franzis Verlag, München 1972.
62. **Hofstein, Lunetta**  
The role of the laboratory in science teaching: research implications  
Paper National Ass. for Res. in Sci. Teaching, Boston (1980).
63. **Hotelling**  
Analysis of a complex of statistical variables into principal components  
J. of Educ. Psychology 24, blz 417 en 498 (1933).

64. **Hotelling**  
The most predictable criterion  
J. of Educ. Psychology 26, blz. 139 (1935).
65. **Interscholaire vaksectie natuurkunde**  
Verzameling practicum schoolonderzoeken 1979/80  
Onderwijsbureau OMO, Tilburg.
66. **Itz, Steller, Verkerk**  
Informatie voor aanstaande natuurkundeleraren. Deel 2  
Capita Selecta, Dictaat THE 1977.
67. **Jaspers**  
Project practicumtoetsen (845): van onderzoek naar productie  
CITO-rapport, Arnhem 1981.
68. **De Jong**  
Correctievoorschriften en interbeoordelaarsbetrouwbaarheid  
Specialistisch bulletin Nr. 6, CITO, Arnhem 1980.
69. **De Jonge, Wielenga**  
Statistische methoden voor psychologen en sociologen  
Wolters, Groningen 1963.
70. **Kerr**  
The nature and purpose of practical work in school science  
Leicester 1963.
71. **Klopper**  
Evaluation of Learning in science  
Bloom e.a. Handbook on formative and summative evaluation of student learning  
McGraw-Hill, New York 1971.
72. **Kok, van Krieken, Luijten**  
Het construeren van open vragen  
CITO-memo 334, Arnhem 1979.
73. **Krans**  
Leraar en leerling bij het onderwijs in de natuurkunde  
Faraday 19, blz. 17 (1949).
74. **Krans**  
Mogelijkheden van het eindexamen in de natuurkunde  
Faraday 37, 231 (1968).
75. **Krathwohl e.a.**  
Taxonomy of educational objectives  
Handbook II: Affective domain, Mac Kay, New York 1964.
76. **Kruglak**  
Some behavior objectives for laboratory instruction  
Am. J. Phys. 19, 223 (1951).
77. **Kruglak**  
The measurement of laboratory achievement  
Am. J. Phys. 22, 442 (1954).
78. **Kruglak**  
The measurement of laboratory achievement. Part II  
Am. J. Phys. 22, 452 (1954).
79. **Kruglak**  
The measurement of laboratory achievement. Part III  
Am. J. Phys. 23, 82 (1955).

80. **Kruijtbosch, Richter**  
Schriftelijke opgaven van het eindexamen der Hogereburgerscholen-B  
Wolters Noordhoff, Groningen
81. **Lerch**  
An exploratory study of objective attainment in the divergent physics laboratory  
Thesis, New Mexico (1971).
82. **Van Lieshout**  
Het ontwikkelen van een leergang 'Inleiding tot de methode van natuurwetenschap-  
pelijk onderzoek'  
CDO Bulletin nr. 4, TH Twente (1970).
83. **Van Lieshout, Ruijter**  
Onderzoeken moet geleerd worden  
Faraday 50, 95 (1981).
84. **Liley, Osborne, Pepper**  
A 'laboratory only' course with open-book examinations  
Physics Education 21, 401 (1976).
85. **Lunetta, Tamir**  
An analysis of laboratory activities in two modern science curricula:  
Project Physics and PSSC  
Paper National Ass. for Res. in Sci. Teaching, Toronto, Ontario (1978).
86. **Lunetta, Tamir**  
Matching lab activities with teaching goals  
The Science Teacher 46, 22 (1979).
87. **Lijnse**  
Doelstellingen en natuurkundeonderwijs  
Didaktiek van de natuurkunde deel 1, Utrecht 1977.
88. **Mager**  
Leerdoelen formuleren hoe doe je dat?  
(bewerking) Wolters Noordhoff, Groningen 1974.
89. **Markering**  
Practicum in de bovenbouw havo en vwo  
Faraday 44, 225 (1975).
90. **Van der Meer, Altman, Bruijn, Schenk**  
Ned. Tijdschr. voor Nat. 36, 175 (1970)
91. **Michels**  
The role of experimental work  
Am. J. Phys. 30, 172 (1962).
92. **Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen**  
Beschikking AVO/J 612.931 d.d. 6 augustus 1976.
93. **Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen**  
Definitieve programma's eindexamens vwo-havo-mavo  
Publicatie 92, tweede druk, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage 1976.
94. **Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen**  
Definitieve programma's eindexamens vwo-hao-mavo  
Publicatie 92, zesde druk, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage 1979.
95. **Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen**  
Besluit eindexamens vwo-havo-mavo  
Publicatie 86, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage 1978.

96. **Morrison**  
Multivariate statistical methods  
McGraw-Hill, New York 1967.
97. **Mulder**  
De seismografische slinger  
Archimedes 9, 73 (1972)  
Faraday 43, 77 en 127 (1973/1974).
98. **Muskens**  
Het nieuwe eindexamenreglement  
Weekblad voor leraren 3, 68 (1970).
99. **Nedelsky**  
Formulation of objectives of teaching in the physical sciences  
Am. J. Phys. 17, 365 (1949).
100. **Nedelsky**  
Science teaching and testing  
Harcourt, Brace & World, New York 1965.
101. **Nie, Hull, Jenkins, Steinbrenner, Bent**  
SPSS (Statistical Package for the Social Sciences)  
McGraw-Hill, New York 1970.
102. **Patterson en Prescott**  
Self-paced freshman physics laboratory and student assesment  
Am. J. Phys. 48, 163 (1980).
103. **Riel e.a.**  
Commissie havo-eindexamen scheikunde  
Faraday 37, 69 (1967).
104. **Robinson**  
Evaluating laboratory work in high school biology  
The American Biology Teacher 34, 226 (1969).
105. **Schröder**  
De functie van het praktikum in de leerstofopbouw  
Verslag van de vakantiecursus natuurkunde, Groningen 1975.
106. **Sektie natuurkunde NVON**  
Practicum-bovenbouw  
Verslag van de vakantiecursus natuurkunde, Groningen 1975.
107. **Seufert**  
Untersuchungen am belasteten Spannungsteiler  
Praxis der Naturw. 28, 156 (1979).
108. **Smit**  
Onduidelijkheden in de eindexamenprogramma's natuurkunde voor havo en vwo  
Faraday 47, 277 (1978).
109. **Steenland**  
Wat verlangt de universiteit of hogeschool van het natuurkunde-onderwijs bij het V.H.M.O.?  
Faraday 30, 22 (1960).
110. **Van Stek**  
Het kwik is eruit  
Faraday 46, 16 (1977).
111. **Steller**  
Waarom geen natuurkundepracticum?  
Faraday 28, 112 (1959).



112. **Steller**  
De eenzijdigheid van het eindexamen  
Faraday 34, 149 (1965).
113. **Steller**  
Handigheid of Inzicht?  
Dissertatie Utrecht, 1965.
114. **Steller**  
Practicum, proefwerk en fysische situatie  
Faraday 39, 134 (1970).
115. **Steller, Verkerk**  
Het joule-kelvineffekt  
Faraday 46, 81 (1977).
116. **Steller, Zandstra**  
Moderne examentechnieken  
Faraday 38, 103 (1968).
117. **Stumpel**  
Inzicht en het toetsen van inzicht in het natuurkunde-onderwijs  
Vakgroep Didactiek Natuurkunde VU Amsterdam 1979.
118. **Swain**  
Practical objectives, a review  
Ed. in Chemistry 11, 152 (1974).
119. **Tacq**  
Associatiematen voor kruistabellen  
Sociologisch onderzoeksinstituut van de K.U. Leuven (1977).
120. **Tamir, Lunetta**  
Analysis of the laboratory inquiries in the third edition of the BSCS  
Yellow Version  
The American Biology Teacher 40, 353 (1978).
121. **Tatsuoka**  
Multivariate Analysis  
John Wiley & Sons, New York 1971.
122. **Theunissen**  
Practicum. Een inventarisatie van vaardigheden  
CITO Algemene publikatie Nr. 23 (1982).
123. **Velines Natuurkundekring Oost**  
Enquête practicum natuurkunde  
Faraday 43, 136 (1974).
124. **Verkerk**  
Schriftelijk examen natuurkunde havo  
Weekblad voor leraren 6, 1917 (1974).
125. **Verkerk**  
Cijfers schoolonderzoek en centraal schriftelijk eindexamen natuurkunde  
Faraday 48, 98 (1979).
126. **Verkerk**  
Een belaste en een onbelaste potentiometer  
Faraday 49, 182 (1980).
127. **Verkerk**  
Praktisch schoolonderzoek. Toetsing van praktikumvaardigheden.  
Faraday 41, 70 (1982).

128. **Verstraelen**  
Een nieuwe mogelijkheid voor het havo-5 schoolonderzoek natuurkunde?  
Verslag THE, sept. 1973.
129. **De Vries**  
Examenverslag natuurkunde vwo 1978 en havo 1978  
NVON-mededelingenblad 3, 9-17 en 9-22 (1978).
130. **De Vries**  
Enquête over de keuze-onderwerpen vwo natuurkunde  
NVON-mededelingenblad 4, 8-23 (1979).
131. **De Vries**  
Examenverslag natuurkunde vwo 1980  
NVON-mededelingenblad 5, 7-37 (1980).
132. **De Vries**  
Leerdoelen voor het eindexamen natuurkunde havo en vwo  
NVON-mededelingenblad 6, 2-21 (1981).
133. **Van Welie**  
Verslag centraal schriftelijk examen natuurkunde vwo 1982  
NVON-mededelingenblad 7, 7-23 (1982).
134. **Werkgroep Natuurkunde Didaktiek**  
Evaluatie. Verslag van de conferentie Woudschoten 1974.
135. **Werkgroep Natuurkunde Didaktiek**  
Het eindexamen natuurkunde voor vwo en havo; schoolonderzoek en CSE  
Verslag van de conferentie Woudschoten 1977.
136. **West**  
Objectives for practical work in school chemistry  
School Science Review 54, 148 (1972).
137. **Wilson**  
Practical work in physics in Scottish schools  
School Science Review 58, 783 (1976).
138. **Wood, Ferguson**  
Teacher assessment of practical skills in A-level chemistry  
School Science Review 56, 605 (1975).
139. **Woolnough**  
Practical work in sixth-form physics  
Phys. Ed. 11, 392 (1976).
140. **Wubbels, Snijders, Blok, Kulik**  
Classificatie van praktische vaardigheden  
Faraday 48, 92 (1979).

## BRONNEN VAN DE MOTTO'S

*Opgenomen aan het begin van de hoofdstukken*

1. **Willem Frederik Hermans**  
De elektriseermachine van Wimshurst  
uit: Een wonderkind of een total loss  
De Bezige Bij, Amsterdam 1967.
2. **Albert Einstein**  
Aus meinen späten Jahren, Zürich 1952  
uit: Johannes Wickert  
Albert Einstein in Selbstzeugnissen und Bilddokumenten 1972.
3. **Petrus van Musschenbroek**  
Oratio de certa methodo philosophiae experimentalis, 1723  
(Utrecht)  
(Vertaling: Het is mijn bedoeling aan te tonen dat alleen een natuurkunde die op experimenten is gebaseerd en uitgebreid en eveneens door experimenten is bevestigd, waar, zeker en vast is)  
zie ook: C. de Pater  
Petrus van Musschenbroek (1692-1761) een newtoniaans onderzoeker  
diss. Utrecht 1979.
4. **Guido Gezelle**  
Lezers ende lezeressen, etc. 19 augustus 1865  
Proza uit 't jaer 30'  
uit: Guido Gezelle's proza en varia, Veen, Amsterdam 1950.
5. **Johann Wolfgang Goethe**  
Aphorismen und Fragmente  
uit: Naturwissenschaftliche Schriften, Zweiter Teil  
Herausgegeben von Ernst Beutler  
Artemis Verlag, Zürich 1952.
6. **Marcel Gilles Jozef Minnaert**  
Voorwoord  
uit: De natuurkunde van 't vrije veld  
Licht en Kleur in het Landschap  
Thieme, Zutphen 1942.
7. **Gijsbert Nikolaas Verkerk (geb. 12-12-1972)**  
uitspraak in 1979.
8. **Michael Faraday**  
Toespraak in 1862 voor gekommiteerden  
uit: L. Pearce Williams  
Michael Faraday 1791-1867  
Chapman and Hall, London 1965.
9. **Bertolt Brecht**  
Leben des Galilei  
Das Collegium Romanum, Forschungsinstitut des Vatikans, bestätigt Galileis Entdeckungen  
uit: Bertolt Brecht Stücke 1935-1945  
Büchergilde Gutenberg, Frankfurt am Main, Wien, Zürich 1965.
10. **Jan Siebelink**  
Sir  
uit: Weerloos  
Loeb & van der Velden, Amsterdam 1978.

**11. Gulielmus Jacobus 's-Gravesande**

Physices elementa mathematica, experimentis confirmata.

Sive Introductio ad Philosophiam Newtonianam. Lugd. Bat. 1720

(Vertaling: REGEL 1 Men moet niet meer oorzaken van natuurlijke zaken toelaten dan die waar zijn en voldoen voor de verklaring van de verschijnselen)  
zie ook: C. de Pater

Willem Jacob 's-Gravesande

Van Stevin tot Lorentz

Uitgave van Intermediair 1980.

**12. Multatuli (Eduard Douwes Dekker)**

Max Havelaar

6e druk, van Oorscot, Amsterdam 1963.

## SUMMARY

In the Netherlands, the leaving examination of secondary schools (mavo, havo, vwo) is split into two parts: a school examination (SE) and a national written examination (CE) centrally arranged at the end of the last year. The SE is arranged by the schools themselves during the last year. For each subject the SE consists of two or more tests. The syllabus for physics consists of assessment objectives and a core of content. This syllabus applies both to the SE and to the CE. From the school year 1981/1982 onwards, laboratory-based practical examinations in the SE are required at havo- and vwo-schools. It is the duty and responsibility of the school (the physics teachers) to arrange these examinations in its own way. This thesis describes a research project about these practical examinations in physics at havo- and vwo-schools.

In the Netherlands, the inclusion of practical work in the secondary school physics course is a choice of the physics teacher himself. In spite of the many discussions about the role of laboratory work, there was only slow growth in laboratory activities, which have mainly remained restricted to the first years of the physics course. Up to now there has been no systematic research about the role of this practical work.

The announcement in 1976 by the Ministry of Education and Science that laboratory work is a compulsory part of SE, has accelerated the process to introduce practical work in the last years of the physics course also.

Many physics teachers have experimented in their schools on how to assess laboratory work. The writer of this thesis, who was a physics teacher till 1976, tried many ways. But in general there was no co-ordination between all these experiments to assess and the evaluation was insufficient. In other countries there has been some research about the objectives of science laboratory work, but very little research has been done about the objectives in relation to the construction and analysis of practical tests. Many lists of objectives are made intuitively, for instance the CITO-list.

The decision to make practical work compulsory as part of SE agrees with the wishes of a growing number of physics teachers to give more prominence to practical work in the later years of the secondary school course. It is certain that the decision was not based on any research studies. That is why the description of this theme in the present physics syllabus is only vague.

The aim of my research project is to give the Dutch physics teachers more clarity on how to assess practical work in the SE and to assess what abilities can be tested by practical examinations in particular.

The most important questions tackled by this research project are:

1. to what extent is it possible to distinguish objectives in physics education by statistical analysis of scores?
2. is it possible, by means of practical examinations, to test objectives distinct from those tested in non-practical examinations?
3. what objectives can be tested only by means of practical examinations?
4. what type of tests are most suited for testing these objectives?

At the start of this research project two research studies were available:

- a survey among the Dutch physics teachers with questions about practical work and practical examinations;
- a research study on the degree of agreement between the results of SE and the results of CE.

For the past four courses, up to and including 1981/82, I did set up several kinds of practical examinations in physics in collaboration with the teachers of seven secondary schools.

These examinations were used by these teachers in their schools. The results of the students (aged 16, 17 or 18) on these tests have been evaluated using statistical analysis methods. The two research studies gave indications that the schools chosen have supplied us with a good random sample of the havo- and vwo-students in the Netherlands. Beside simple statistical methods I used also canonical correlation analysis and principal factor analysis.

The most important results of the assessment of practical work are:

- there are many possibilities to construct fairly objective and reliable practical examinations.
- short practical tests can be used to test practical skills in detail.
- the physics teachers had no problems with the content of the tests developed and the practical implementation in their schools.
- after some training physics teachers can set practical tests themselves.
- students have much appreciation for practical examinations, but experience in practical work during several school-years is an absolute requisite.

The most important results of the evaluation of the tests (also in relation with SE and CE) are:

- when practical examinations are included, it is possible to test more objectives defined for physics learning than with written examinations only.
- the results of the students on experimental skills are on the whole better than the results on their abilities to analyse and interpret the experiment.
- there is a low correlation between the results of practical examinations and those of written paper-and-pencil tests.
- canonical correlation analysis and principal factor analysis supply more detailed distinctions between the abilities for practical work and for written tests.

- the following abilities were found:
  - a. general (theoretical) physical knowledge and comprehension.
  - b. knowledge and comprehension of theoretical physics problems.
    - b.1. knowledge and comprehension of standard problems.
    - b.2. insight.
  - c. ability to perform an experiment.
    - c.1. manipulation and ability to use apparatus.
    - c.2. observation and recording.
  - d. ability to analyse and interpret an experiment.
    - d.1. ability to make a graphical representation.
      - d.1.1. ability to set up a diagram.
      - d.1.2. ability to arrange measured data in a graphical form.
    - d.2. ability to interpret experimental results and draw conclusions.
- Objectives c.1. en c.2. can only be measured by means of practical tests.
- The best possibility to measure objectives d.1. and d.2. is by means of practical tests.

The results of this research have consequences for:

1. the list of objectives. The strong and weak aspects of the CITO-list are discussed.
2. the Dutch physics syllabus. A new formulation for practical work in SE is suggested.
3. the way of practical testing and the type of practical tests. Recommended is a practical test being composed of two parts:
  - performing an experiment;
  - interpreting and analysing an experiment.

For a detailed judgement of experimental abilities it is necessary to have sufficient judges and a detailed key.

It is possible to judge these abilities separately by means of short experiments (the same experiments for all the students with one judge).

This research project dealt with practical physics examinations in Dutch havo- and vwo-secondary schools, but the results of this research are also useful for everyone who wishes to make objective evaluations of practical work.

## CURRICULUM VITAE

De schrijver van dit proefschrift behaalde in 1960 het diploma gymnasium- $\beta$  aan het Coornhert Gymnasium te Gouda. Vervolgens studeerde hij wis- en natuurkunde aan de Rijksuniversiteit te Utrecht. In 1968 werd het doktoraal examen experimentele natuurkunde afgelegd met bijvakken wiskunde en technische natuurkunde. Ook werd de onderwijsbevoegdheid voor natuurkunde, wiskunde en sterrenkunde verkregen. Tijdens de studie was de schrijver gedurende één jaar als co-assistent en gedurende twee en een half jaar als student-assistent in dienst van de universiteit en gedurende enkele maanden als leraar natuurkunde verbonden aan het Revius Lyceum te Doorn (vervanging). Na de studie werkte hij één jaar als leraar wiskunde aan het Thorbecke Lyceum te Utrecht. Daarna was hij zeven jaar leraar natuurkunde aan het Marnix College te Ede. Tijdens zijn lerarenloopbaan was hij lid van diverse (staats)kommissies, o.a. de Staatsexamenkommissie. Op 1 augustus 1976 trad hij in dienst van de Technische Hogeschool te Eindhoven als wetenschappelijk hoofdmedewerker bij de groep didactiek natuurkunde. Naast zijn onderwijs- en onderzoekstaken wordt door hem veel organisatie- en commissiewerk verricht.



# **BIJLAGE**

**bij**

## **HET PRAKTIKUM IN HET SCHOOLONDERZOEK NATUURKUNDE**

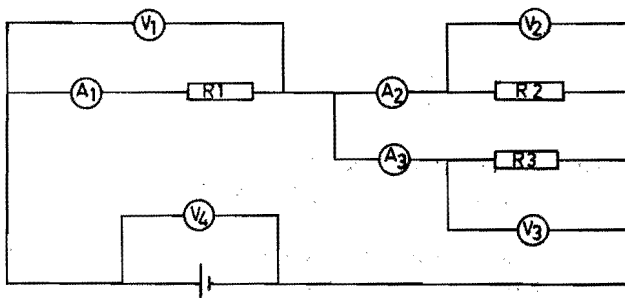
**Beoordeling van praktikumvaardigheden  
op havo- en vwo-scholen**

**door**

**G. Verkerk**

Opgave 1

I-1



In bovenstaande schakeling kunnen de weerstanden  $R_1$ ,  $R_2$ , en  $R_3$  bepaald worden m.b.v. volt- en ampèremeters. De ampèremeters in de schakeling hebben elk een weerstand van  $3,0\Omega$ , de voltmeters hebben een weerstand van  $1000\Omega$ .  $V_1$  wijst 30 volt aan,  $A_1$  wijst 300 mA aan.

- Bereken de grootte van de weerstand  $R_1$ .  
 $V_2$  wijst 20 volt aan,  $A_2$  wijst 200 mA aan.
- Bereken de grootte van de weerstand  $R_2$ .
- Bereken hoeveel  $A_3$  en  $V_3$  aanwijzen.
- Bereken hoeveel  $V_4$  aanwijst.

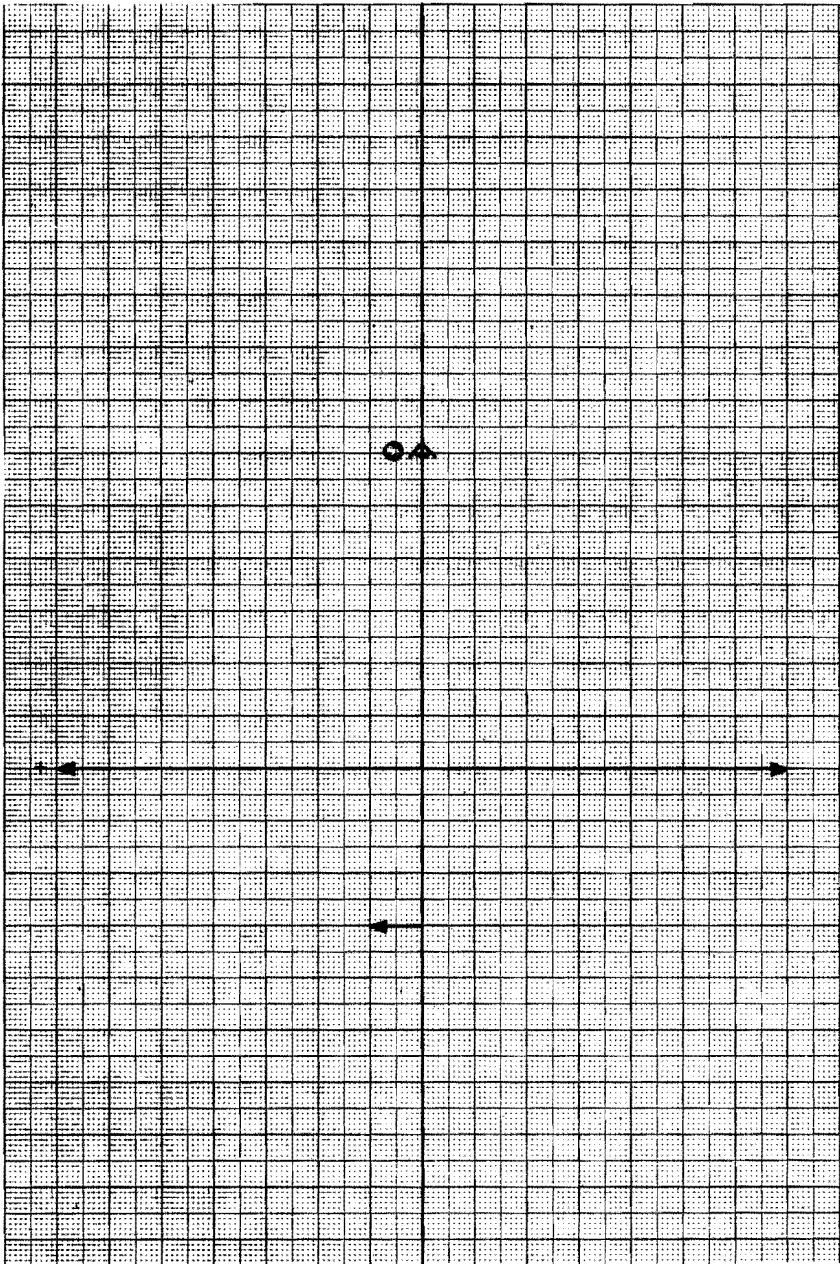
Opgave 2

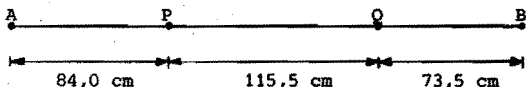
Een lichtgevende pijl bevindt zich op 6 cm afstand van een dunne sferische lens met een brandpuntsafstand van + 10 cm.

- Bereken de beeldpuntsafstand.
- Bereken de lineaire vergroting.
- Konstrueer het beeld op het antwoordblad ( schaal 1 : 2).

Iemand houdt zijn oog op de hoofdas van de lens op een afstand van 12 cm. ( zie antwoordblad).

- Onder welke hoek ziet hij de pijl?
1. Waar moet hij het voorwerp plaatsen om de pijl met ongeaccomodeerd oog te zien?
2. Onder welke hoek ziet hij de pijl nu?





Tussen de punten A en B kunnen verschillende draden gespannen worden. In A bevindt zich een trillingsbron, waarvan de frekwentie regelbaar is. B is een vast uiteinde.  $AB = 273,0$  cm.

- a. Op welke manieren (drie verschillende) is de golflengte van de trilling tussen A en B te variëren?

A trilt nu met een frekwentie van 50 Hz en de voortplantingssnelheid van de golf in de draad is 21 m/s.

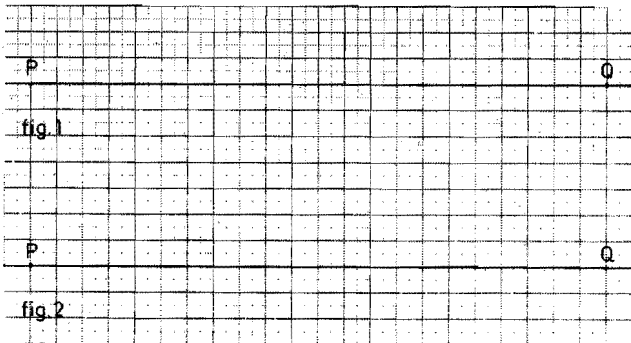
- b. Hoeveel golflengten is het stuk PQ lang?

De draad tussen A en B wordt voortdurend belicht door een sterke lichtbron. Op korte afstand staat een fototoestel opgesteld, dat op de film precies het stuk PQ kan opnemen.

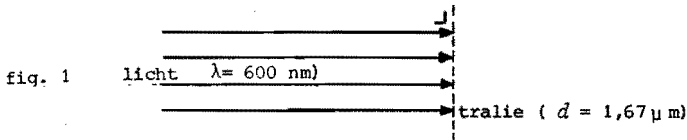
Stel dat op het tijdstip  $t = 0$  het punt A begint te trillen en door de evenwichtsstand omhoog gaat. Hieronder staat het stuk PQ weergegeven (schaal 1 : 5). Voor de amplitude van de trillingsbron in A kan in de tekening 1 cm worden gekozen.

- c. Teken in fig. 1 hieronder de figuur, die men op de film van het fototoestel krijgt, als men van  $t = 0$  tot  $t = 0,08$  s fotografeert.

- d. Op het moment dat de in punt B teruggekaatste golf het punt P weer passeert begint men vervolgens te fotograferen gedurende 0,01 s. Teken in fig. 2 hieronder de figuur, die men dan op de foto krijgt.

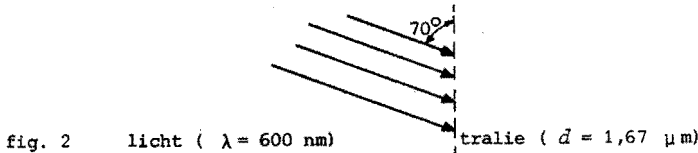


Een smalle evenwijdige bundel licht ( b.v. van een laser) valt loodrecht op een tralie ( fig. 1). Het licht is monochromatisch en coherent. De golflengte van het licht  $\lambda = 600 \text{ nm}$ . Het tralie heeft een tralieconstante  $d = 1,67 \mu\text{m}$ .



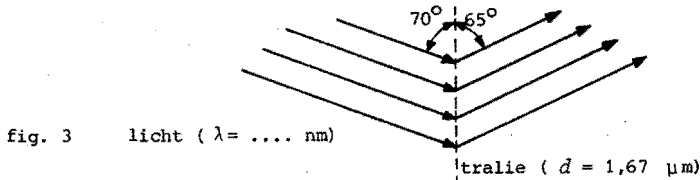
- Wat verstaat men onder een 0<sup>e</sup>-orde maximum?
- Bereken de hoek tussen het 0<sup>e</sup>-orde maximum en het 1<sup>e</sup>-orde-maximum.
- Bereken het aantal maxima ( ordes) dat kan worden waargenomen.

Men laat nu de lichtbundel scheef op het tralie vallen. De hoek tussen de bundel en het tralie is 70° ( fig. 2).



- In welke richting ligt het 0<sup>e</sup>-orde maximum nu? Licht het antwoord toe.

Men gebruikt nu coherent licht van een andere golflengte en constateert een 2<sup>e</sup>-orde maximum in een richting, die een hoek maakt van 65° met het tralie ( fig. 3).



- Bereken de golflengte van het nu gebruikte licht.

Opgave 5

I-5

Aan een dunne aluminium staaf is een cilindervormig voorwerp met massa  $m$  bevestigd. De massa van de staaf kan t.o.v. de massa van het voorwerp worden verwaarloosd. Punt  $S$  is het scharnierpunt van de staaf. Voor een mathematische slinger geldt:  $T = 2\pi\sqrt{l/g}$ . Fig. 1 geeft op schaal 1 : 10 de situatie weer.

- Bereken de slingertijd van de staaf met voorwerp.
- Leg uit hoe de slingertijd van de staaf met het voorwerp zou kunnen afwijken van de formule van de slingertijd voor de mathematische slinger, als de massa van de staaf niet verwaarloosbaar is t.o.v. de massa van het voorwerp.
- Bespreek de mate van overeenstemming tussen de berekende en gemeten slingertijd i.v.m. de nauwkeurigheid van de meting.
- Teken in de figuur op het antwoordblad alle krachten, welke op het cilindervormig voorwerp werken als dit zich in de uiterste stand bevindt.

Aan het boveinde van de dunne aluminium staaf wordt nu een tweede cilindervormig voorwerp bevestigd, ook met massa  $m$  (zie fig. 2, schaal 1 : 10). De slingertijd wordt gemeten. (Zie antwoordblad, meting 2).

- Leg met behulp van de resulterende kracht, die de harmonische beweging in stand houdt uit, dat de trillingstijd nu groter is dan in de situatie van fig. 1.

De beide cilindervormige voorwerpen mogen puntvormig gedacht worden en de aluminium staaf mag langer worden genomen voor het beantwoorden van de volgende vragen. De afstand van het tweede voorwerp tot scharnierpunt  $S$  noemen we  $x$ . We kunnen  $x$  variëren. Valt het tweede voorwerp in  $S$  dan is  $x = 0$ . Valt het voorwerp samen met het eerste dan is  $x = -l$ . Stel  $x$  kan variëren van  $-l$  tot  $+l$ .

- Hoe groot is de slingertijd als  $x = 0$ ?
- Hoe groot is de slingertijd als  $x = -l$ ?
- Hoe groot is de slingertijd als  $x = +l$ ?

Er wordt nu nog een meting van de slingertijd gedaan met  $x = -\frac{1}{2}l$ . (Zie op het antwoordblad meting 3).

- Geef in het assenstelsel op het antwoordblad zo nauwkeurig mogelijk de grafiek, die het verband weergeeft tussen de trillingstijd  $T$  en de afstand  $x$ .

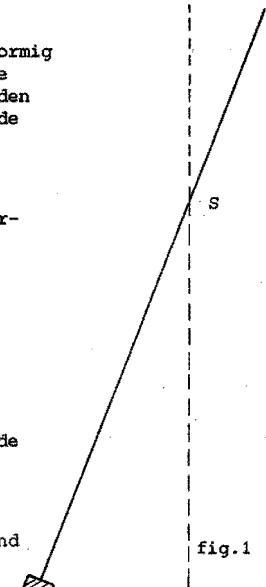


fig.1

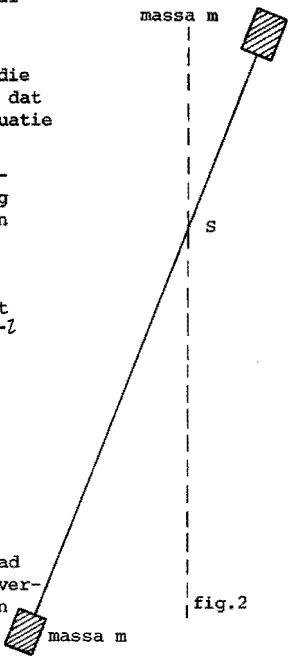


fig.2

N.B. Vul onderstaande metingen in met zoveel cijfers als door jou bij deze metingen verantwoord wordt geacht!

Meting 1: (vergelijk vraag c , één voorwerp).

De slingertijd van de staaf wordt gemeten:

$$10 T = \dots \text{ s.}$$

$$T = \dots \text{ s.}$$

Meting 2: (vergelijk fig. 2, twee voorwerpen).

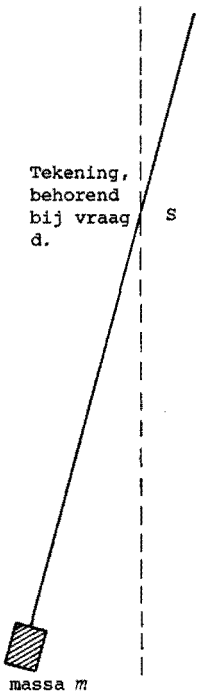
De slingertijd van de staaf wordt gemeten:

$$T = \dots \text{ s.}$$

Meting 3: (slingertijd met twee voorwerpen,  $x = -4l$ ).

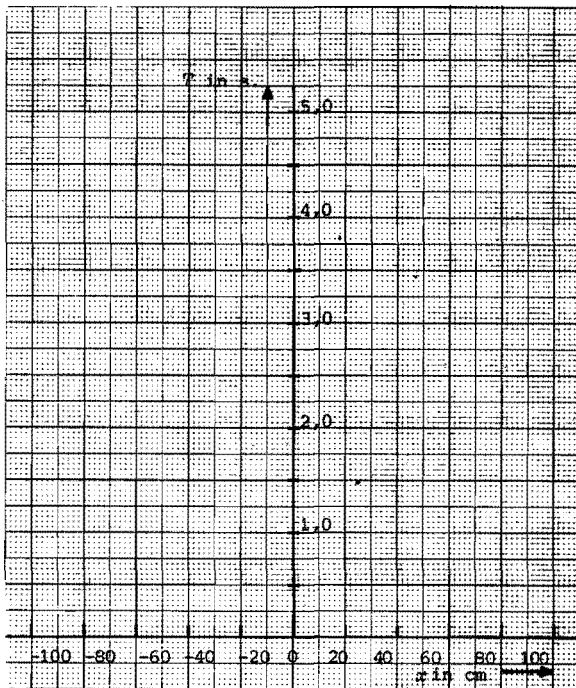
De slingertijd van de staaf wordt gemeten:

$$T = \dots \text{ s.}$$



Tekening, behorend bij vraag d.

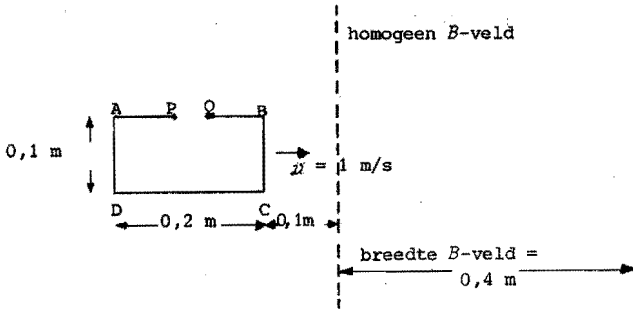
Assenstelsel bij vraag g.:



Opgave 1

I-7

Een rechthoekig open draadraam APQBCD schuift met een snelheid van 1 m/s naar rechts in de richting van een scherp afgebakend magnetisch veld. Het magnetisch veld staat loodrecht op het papier ( fig. 1) en heeft een sterkte van 0,2 N/Am. Op tijdstip  $t = 0$  is de situatie zoals weergegeven in figuur. BC is dan nog 0,1 m van de grens van het magnetisch veld verwijderd.



- Teken in een grafiek op het antwoordblad het verloop van de magnetische flux door het draadraam als functie van de tijd tussen  $t = 0$  en  $t = 1$  s.
- Teken in een grafiek op het antwoordblad het verloop van de spanning tussen P en Q als functie van de tijd in hetzelfde interval.

Men herhaalt de proef met een even groot gesloten draadraam met een weerstand van  $4\Omega$ .

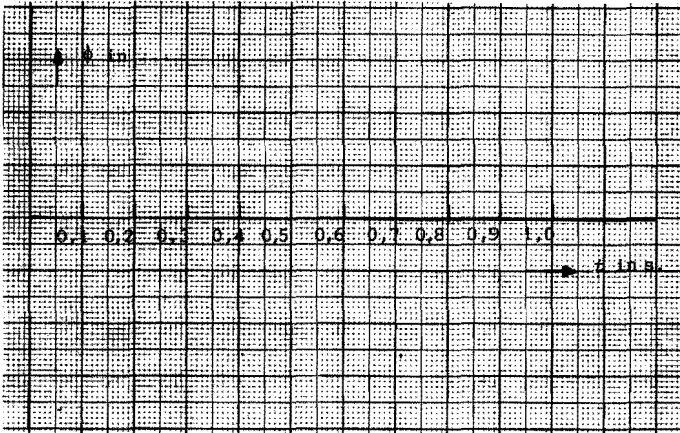
- Bereken de induktiestroom die optreedt wanneer BC de grens van het magnetisch veld overschrijdt.
- Bereken de arbeid die nodig is om het gesloten draadraam geheel in het veld te brengen.

Het gesloten draadraam schuift men nu met een willekeurige snelheid  $v$  naar rechts vanuit de beginstand van fig. 1.

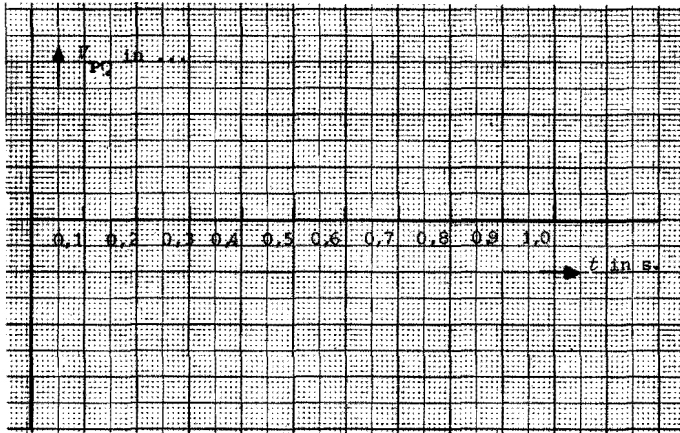
- Teken in een grafiek op het antwoordblad de arbeid die nodig is om het gesloten draadraam geheel in het veld te brengen als functie van de snelheid  $v$ .



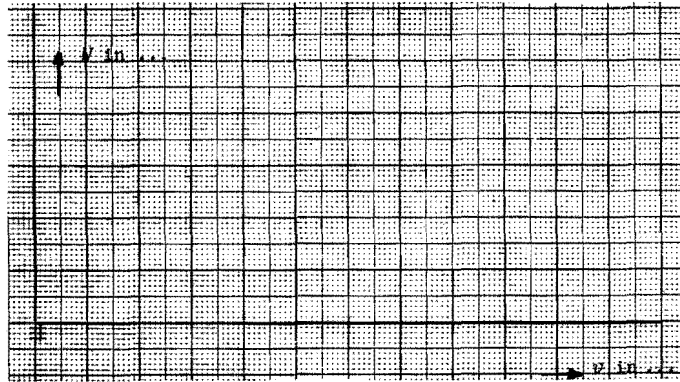
Bij 1a.



Bij 1b.



Bij 1c.



Om inzicht te krijgen in de opbouw van een atoom zijn in de loop van de historie belangrijke experimenten gedaan. Een van deze experimenten is de verstrooiingsproef van Rutherford.

- Beschrijf kort hoe de proef van Rutherford verloopt.
- Welke conclusies kunnen getrokken worden uit de proef van Rutherford?

Franck en Hertz toonden aan dat atomen diskrete energieniveaus hebben. Zij gebruikten hiervoor een buis gevuld met kwikdamp. De buis is hieronder in twee schakelingen opgenomen: fig. 2 en fig. 3.

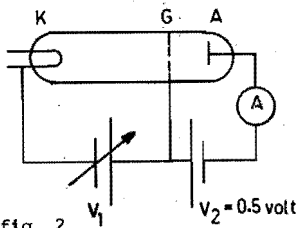


fig. 2.

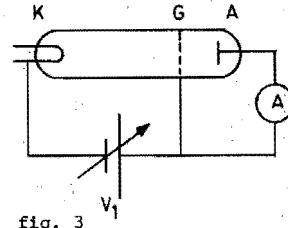


fig. 3

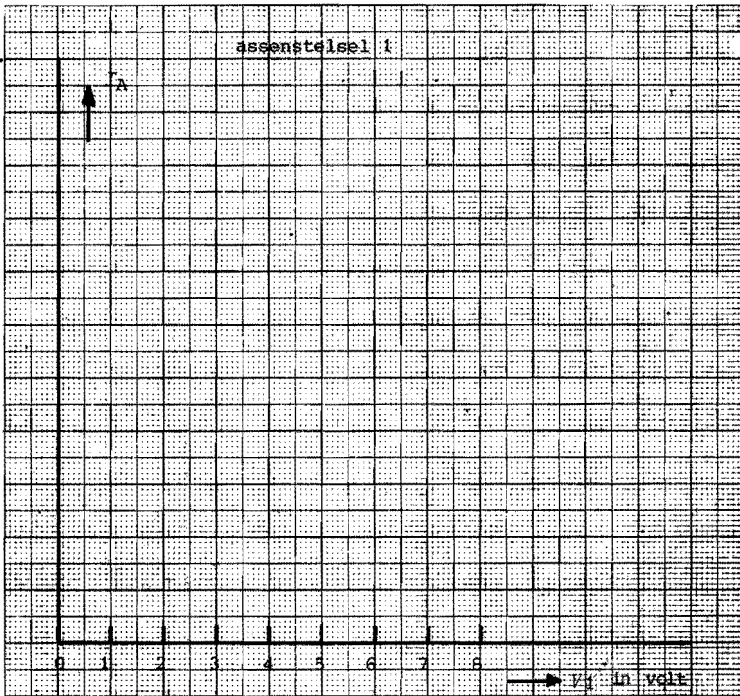
De energieniveaus van een Hg-atoom zijn: 4,9/ 5,4/ 6,7/ 7,7/ 8,8/ 9,2/ .../ 10,4 eV.

- Schets op het antwoordblad in assenstelsel 1 de stroom  $I_A$  door de ampèremeter als functie van de spanning  $V_1$  voor de schakeling van fig. 2.
- Schets in hetzelfde assenstelsel de stroom  $I_A$  door de ampèremeter A als functie van de spanning  $V_1$  voor de schakeling van fig. 3.
- Leg het verschil uit met de eerste schets.
- Geef in assenstelsel 2 op het antwoordblad het mogelijk verband aan tussen de kinetische energie ( $E_{kin}$ ) van een willekeurig elektron in eV en de plaats van het elektron in de buis in de situatie van fig. 3. Er zijn 3 mogelijkheden!

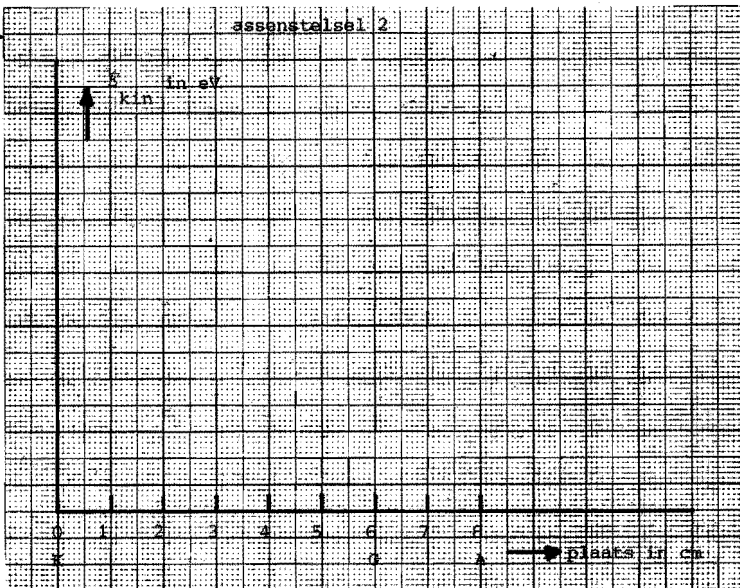
Aangenomen moet worden:

- $V_1 = 6$  volt
- bij het verlaten van de kathode is de  $E_{kin}$  van het elektron 0 eV.
- het elektrisch veld tussen kathode en anode is homogeen.
- bij botsing van een elektron met een kwikatoom kan het elektron of al zijn energie overdragen of geen energie overdragen.
- de afstand kathode-anode is 8 cm, de afstand kathode-rooster is 6 cm.

Bij 2c  
en 2d.



Bij 2e.

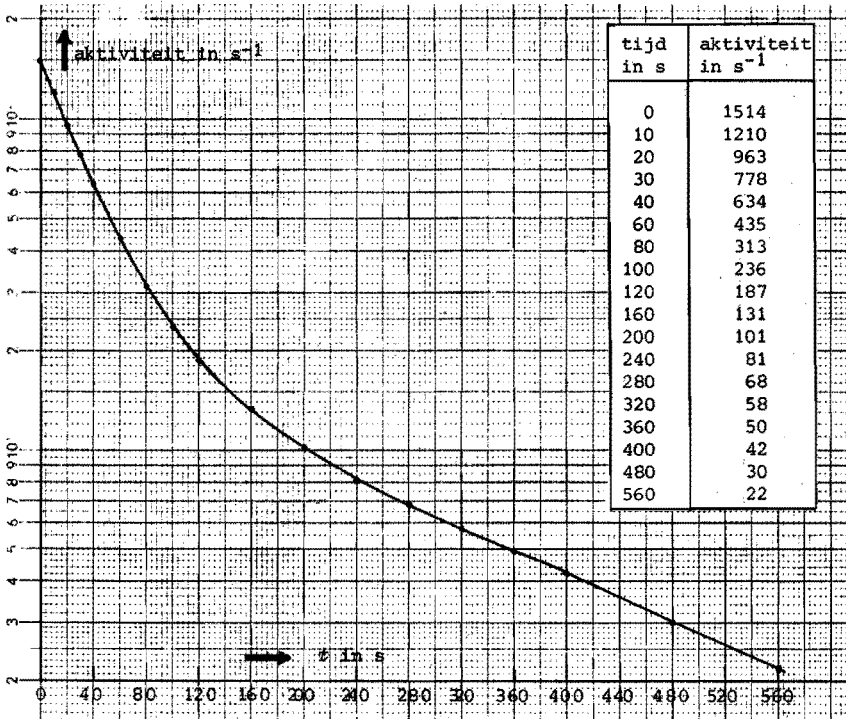


Opgave 3

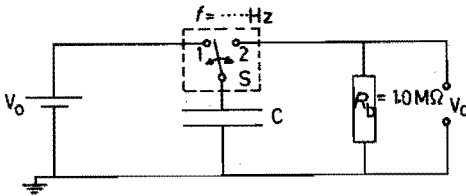
Neutronen verkrijgt men door  $^{226}\text{Ra}$  en  $^9\text{Be}$  samen te voegen. Het  $\alpha$ -deeltje dat door  $^{226}\text{Ra}$  uitgezonden wordt reageert met de  $^9\text{Be}$ -kern en er ontstaat een neutron.

a. Schrijf de reactievergelijkingen op die leiden tot het ontstaan van neutronen.

Een bundel aldus verkregen neutronen richt men op een plaatje natuurlijk zilver. Er ontstaan 2 radioactieve isotopen van zilver, beide  $\beta$ -stralers. Men meet de  $\beta$ -activiteit (het aantal pulsen per seconde) van het plaatje vanaf  $t = 0$  s met een GM-telbuis. Het resultaat is (na correcties voor o.a. de achtergrondstraling) weergegeven in onderstaande tabel en grafiek op enkelvoudig logaritmisch papier.



- b. Bepaal de halveringstijd van het langstlevende zilverisotoop.
- c. Bepaal de activiteit van het langstlevende zilverisotoop op  $t = 0$  s.
- d. Bereken de activiteit van het kortstlevende zilverisotoop op  $t = 0$  s.
- e1. Hoe zou men de halveringstijd van het kortstlevende zilverisotoop kunnen bepalen.
- e2. Bepaal de halveringstijd van het kortstlevende zilverisotoop.



Toelichting schakeling:

- C is een plaatcondensator opgesteld in lucht. Voor de capaciteit geldt:  $C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$  ( $A = \dots \text{m}^2$ ).
- $V_0$  is een gelijkspanningsbron. De spanning wordt afgelezen m.b.v. een voltmeter.
- S is een elektronische schakelaar. In stand 1 wordt C opgeladen, in stand 2 wordt C ontladen via de belastingsweerstand  $R_b$  van  $1,0 \text{ M}\Omega$ . De frekwentie waarmee S wisselt is ... Hz.
- $V_u$  is de spanning over  $R_b$ . De spanning  $V_u$  wordt aanvankelijk bekeken met een oscilloscoop. Later wordt de spanning afgelezen m.b.v. een voltmeter.

Bekijk de spanning  $V_u$  op de oscilloscoop.

a. Teken in de figuur op het antwoordblad  $V_u$  als functie van de tijd.

Men vervangt de oscilloscoop door een voltmeter. Deze geeft de gemiddelde spanning aan over een periode. Deze spanning noemen we  $\bar{V}_u$ . Lees de voltmeter af.

b. Bereken de lading  $Q$  die in één periode door de weerstand  $R_b$  gaat.

Behalve met de capaciteit  $C$  van de plaatcondensator hebben we ook te maken met de capaciteit  $C'$  van de bedrading. De bedrading kan beschouwd worden als een condensator met capaciteit  $C'$  parallel aan  $C$ . De lading die in stand 2 van de schakelaar door  $R_b$  gaat is in stand 1 op  $C$  en  $C'$  gebracht.

- a1. Laat zien dat  $Q = \left[ \frac{\epsilon_0 A}{d} + C' \right] V_0$
- a2. Leg m.b.v. formules uit dat  $\bar{V}_u$  als functie van  $\frac{1}{d}$  een rechte lijn oplevert.

Bij verschillende waarden van  $d$  wordt nu  $\bar{V}_u$  gemeten.

d1. Vul de tabel op het antwoordblad in.

d2. Teken de grafiek van  $\bar{V}_u$  tegen  $\frac{1}{d}$  op het antwoordblad.

- e1. Bereken  $C'$  m.b.v. de grafiek.
- e2. Bereken de waarde van  $\epsilon_0$  die volgt uit de helling van de grafiek.

Nu wordt de ruimte tussen de platen gevuld met een stuk ...  
De bijbehorende  $\bar{V}_u$  wordt nu gemeten.

f. Bereken de waarde van  $\epsilon_r$  voor ...

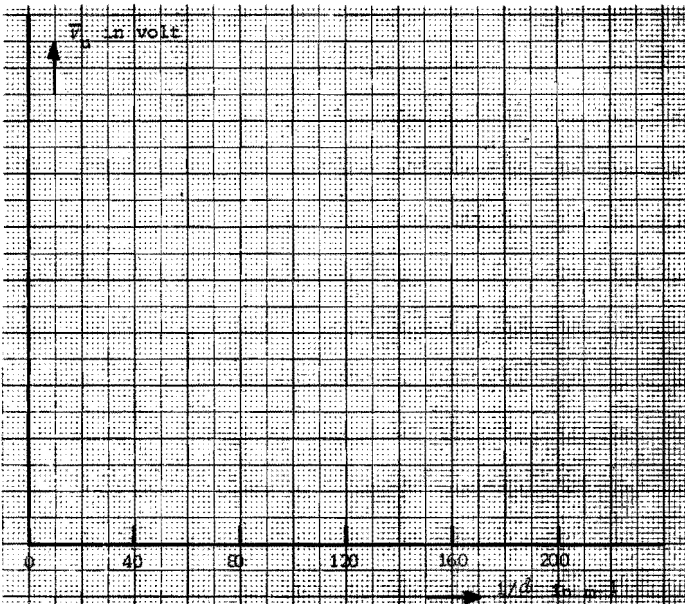
Bij 4a.



Bij 4d1.

meting	$d$ ( mm)	absolute fout in $d$	$1/d$ ( $m^{-1}$ )	absolute fout in $1/d$	$V_u$ ( volt)
1	5	1 mm	200		
2	8	1 mm	125		
3	10	1 mm	100		
4	15	1 mm	67		
5	20	1 mm	50		
6	30	1 mm	33		
7	50	1 mm	20		
8					

Bij 4d2.

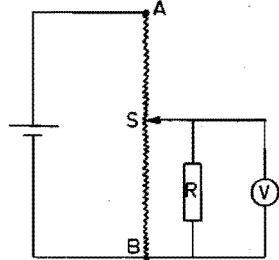


### Opgave 1

I-14

In nevenstaande schakeling is AB een homogene weerstandsdraad van 30 cm lang. De totale weerstand van de draad is  $60 \Omega$ . Men meet het potentiaalverschil  $V$  tussen schuif  $S$  en punt  $B$  op de draad met een ideale voltmeter, waaraan een weerstand  $R$  parallel is geschakeld. Men meet het potentiaalverschil als functie van de afstand  $BS$ . Het resultaat is weergegeven in de grafiek, welke te vinden is op het antwoordblad. De schuif wordt zo ingesteld, dat  $BS = 20$  cm.

- a1. Bereken de weerstand van het draadstuk  $BS$ .
- a2. Bereken de weerstand van het draadstuk  $AS$ .
- a3. Bereken de stroomsterkte in het draadstuk  $BS$ .
- a4. Bereken de stroomsterkte in het draadstuk  $AS$ .
- a5. Bereken de stroomsterkte in  $R$ .
- a6. Bereken de grootte van de weerstand  $R$ .



De schuif wordt nu zo ingesteld, dat  $BS = 25$  cm.

- b. Bereken m.b.v. de gevonden waarde van  $R$ , het potentiaalverschil tussen punt  $B$  en de schuif  $S$ .

De weerstand  $R$  wordt nu verwijderd.

- c. Teken op het antwoordblad de grafiek van het potentiaalverschil tussen  $B$  en  $S$  als functie van de afstand  $BS$ , in het assenstelsel van de reeds getekende grafiek.

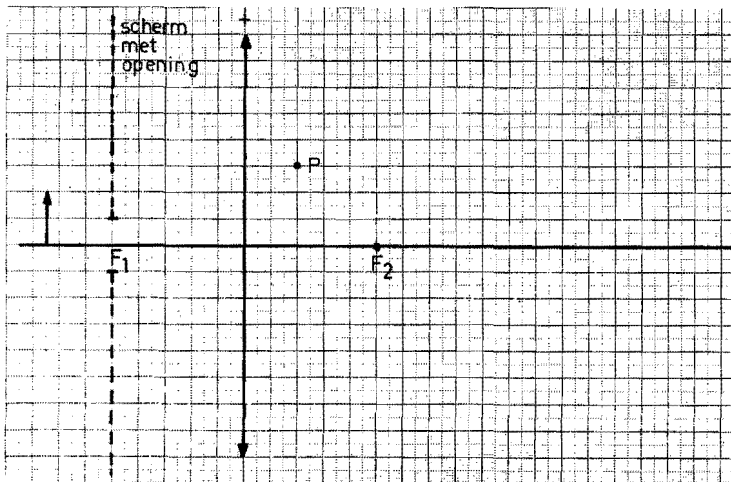
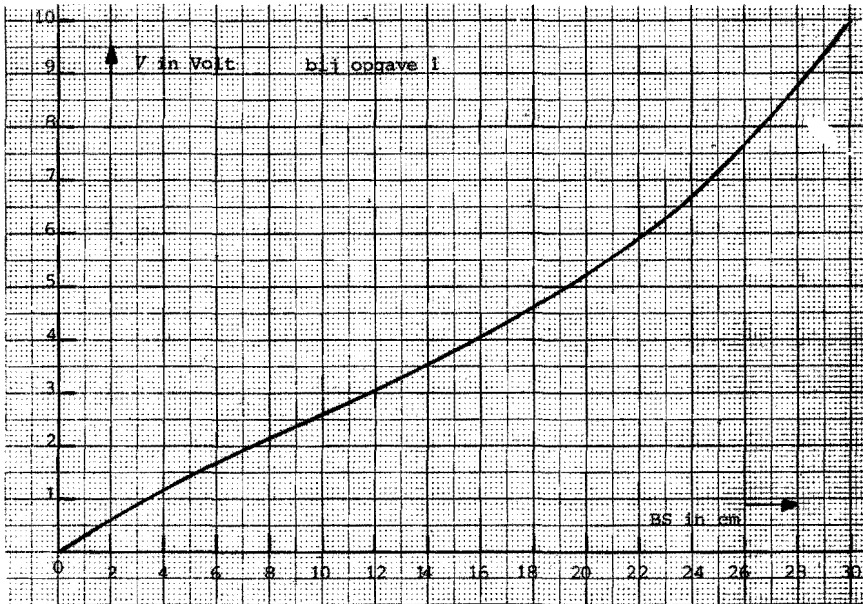
### Opgave 2

Een lichtgevende pijl bevindt zich op 7,5 cm voor een sferische dunne lens met een brandpuntsafstand van + 5 cm.

- a1. Bereken de plaats van het beeld.
- a2. Bereken de lineaire vergroting.
- b. Konstrueer op het antwoordblad het beeld ( op ware grootte).
- c. Konstrueer een lichtstraal vanuit de punt van de lichtgevende pijl, die door het punt  $P$  gaat ( zie antwoordblad).

Men plaatst een scherm op de plaats waar het beeld zich bevindt. Men ziet dan op het scherm een scherp beeld van de pijl. Daarna plaatst men een scherm met een gat ( straal 1 cm) op 5 cm voor de lens ( gestippeld getekend op het antwoordblad).

- d. Wat voor verandering neemt men waar m.b.t. het beeld van de pijl op het scherm. Licht het antwoord toe.





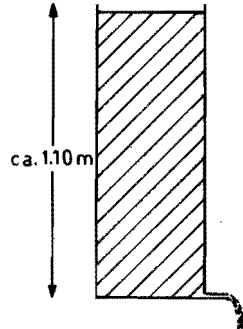
Opgave 3

1-17

Een glazen vertikaal staande buis is geheel gevuld met water. Bij de rand van de buis houdt men een aangeslagen stemvork. Deze trilt met een frekwentie van 450 Hz. Intussen loopt het water langzaam weg door een opening onderin de buis. (Zie fig.). De luchtkolom boven het water resonanceert met de stemvork als de waterspiegel resp. 17 cm, 56 cm en 95 cm onder de rand van de buis is.

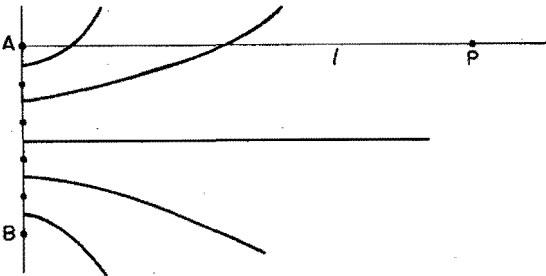


- Bereken de voorplantingssnelheid van het geluid in de lucht.
- Bereken de plaats van de buik boven de rand van de cilinder.
- Geef in de tekening op het antwoordblad de buiken en knopen aan als de waterspiegel 95 cm onder de rand van de buis is.
- Geef in dezelfde tekening met pijltjes de snelheden van de luchtdeeltjes aan, als ze door de evenwichtsstand gaan.

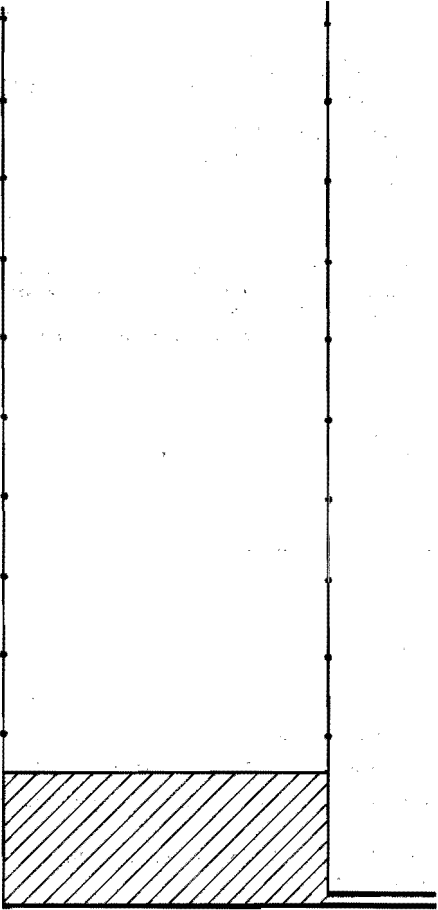


Opgave 4

In een golfbak bevinden zich in de punten A en B coherente trillingsbronnen. Elke trillingsbron produceert transversale oppervlaktegolven met een golflengte van 2 cm. De afstand AB is 5 cm. In onderstaande figuur is de situatie op ware grootte getekend, met daarin ook de buiklijnen.



- Wat versta je onder buiklijnen?
  - Wat is de voorwaarde voor maximale versterking?
  - Op de middelloodlijn van AB treedt maximale versterking op. Bewijs dit.
- Punt P bevindt zich op 12 cm van A, op de lijn  $l$ . Lijn  $l$  staat loodrecht op de lijn AB (zie fig.).
- Toon aan dat er in punt P een minimum is.
  - Als men vanuit A weggaat over de lijn  $l$  is punt P het laatste punt waar een minimum optreedt. Verklaar dit.
  - Wat neemt men waar in punt P als de frekwentie van de trillingsbronnen verdubbeld wordt. Licht het antwoord toe.



Een houten plateau is m.b.v. twee bladveren vastgeklemd aan de tafel. In het plateau zijn twee ronde vakjes en een rond gat gemaakt, waarin messing cilinders geplaatst, resp. gehangen kunnen worden (zie fig.). Het plateau wordt belast genoemd, als een of meerdere messing cilinders in een (de) vakje(s) geplaatst is (zijn).

Opdracht p1: De trillingstijd van het belaste plateau is reeds in drie gevallen bepaald. Meet nu de trillingstijd in twee andere gevallen (zie tabel antwoordblad).

Opdracht p2: Teken op het antwoordblad een grafiek van  $T^2$  als functie van de massa van de belasting van het plateau.

In het gat in het plateau wordt nu een cilinder gehangen van 0,4 kg aan een touwtje met een lengte van 1,0 m.

Opdracht p3: Bepaal de trillingstijd van het plateau met de cilinder van 0,4 kg in het gat (zie antwoordblad).

b. Vergelijk de hier gevonden trillingstijd met de waarden in de tabel bij opdracht 2. Geef een konklusie.

Vervolgens wordt de cilinder van 0,4 kg met hetzelfde touwtje opgehangen aan het onbelaste plateau. Men laat dit even trillen.

c. Beredeneer hoe groot de trillingstijd nu is.

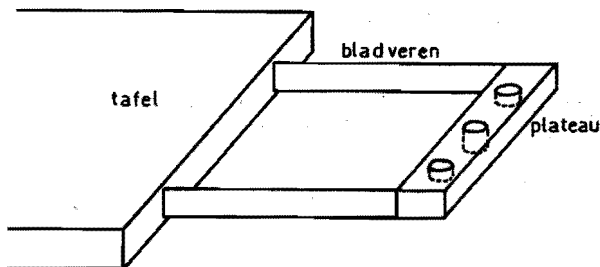
Voor een slinger geldt:  $T = 2\pi \sqrt{l/g}$ .

d. Bereken de slingertijd van een slinger met lengte 1,0 resp. 2,0 m.

e. Voorspel hoe groot de trillingstijd van het plateau zal zijn als een touwtje met een lengte van 2,0 m gebruikt wordt in opdracht 3. Licht het antwoord toe.

Als we het touwtje korter zouden maken dan 1 meter, dan zou de slingertijd gelijk kunnen worden aan de trillingstijd van het plateau.

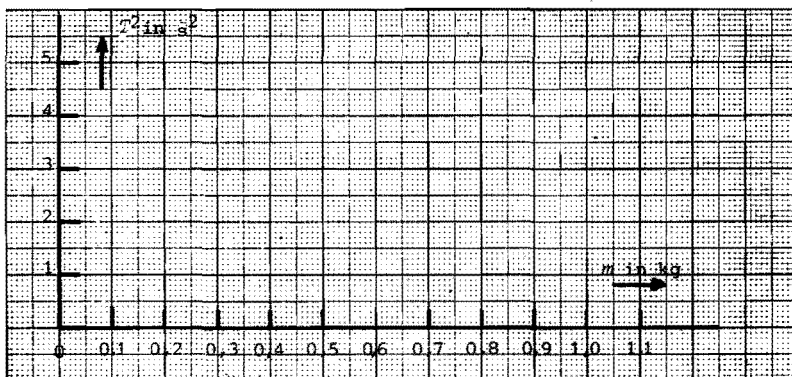
f. Wat zou er dan kunnen gebeuren als de cilinder onderaan het plateau is opgehangen?



Opdracht 1: Meting van de trillingstijd van het belaste plateau.

belasting $m$ ( kg )	trillingstijd $T$ ( s )	$T^2$ ( s )

Opdracht 2:  $T^2$  als functie van de belasting  $m$ .



Vraag a1. Bepaal de trillingstijd van het onbelaste plateau.

Antwoord:  $T =$

Vraag a2. Bepaal de massa van het onbelaste plateau.

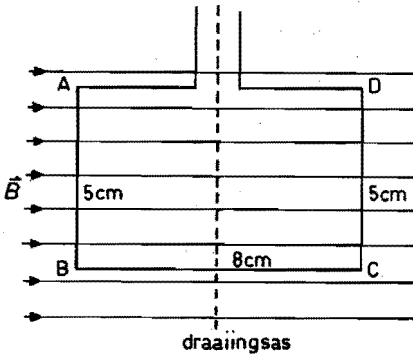
Antwoord:  $m =$

Opdracht 3: Meting van de trillingstijd van het onbelaste plateau met de cilinder van 0,4 kg in het gat, hangend aan een touwtje van 1,0 m.

Antwoord:  $T = \dots$

Opgave 1

I-21



In een homogeen magnetisch veld ( $B = 0,20 \text{ T}$ ) is een stroomwinding opgesteld, met zijn magnetische as loodrecht op de richting van het magnetisch veld. De winding is draaibaar om een verticale as. (fig. 1)  
De winding is rechthoekig.  $AB = CD = 5 \text{ cm}$ ;  $BC = AD = 8 \text{ cm}$ . De stroom in de winding is  $4 \text{ A}$  en de richting van de stroom is:  $D \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A$ . Het magnetisch veld is gericht van links naar rechts.

fig. 1.

- Wat is de richting van de Lorentzkracht op de draadstukken AB en BC? Licht het antwoord toe.
- Bereken de grootte van de Lorentzkracht op de draadstukken AB en BC.
- Welke stand zal de vrij draaibare winding uiteindelijk innemen? Licht het antwoord toe.
- Bereken de grootte van de Lorentzkracht op de draadstukken AB en BC in de nieuwe stand.

Opgave 2

Een vlakke plaatcondensator is horizontaal opgesteld. De onderste plaat is geaard, de bovenste plaat heeft een constante potentiaal van  $1000 \text{ V}$ . De afstand van de platen is  $2,5 \text{ mm}$ . Tussen de platen bevindt zich lucht.

- Bereken de veldsterkte tussen de platen.
- Bereken de elektrische lading van een bolletje met massa  $3,2 \cdot 10^{-14} \text{ kg}$ , dat tussen de platen juist blijft zweven.

Tussen de platen bevindt zich een ion met lading  $-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  en massa  $4 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$ .

- Toon aan dat de zwaartekracht op het ion te verwaarlozen is t.o.v. de elektrische kracht.

Men schiet een soortgelijk ion met horizontale snelheid  $v$  midden tussen de platen (diameter  $25 \text{ cm}$ ). Het ion beschrijft een baan zoals aangegeven in fig. 2.

- Leg uit wat voor soort baan het ion beschrijft.
- Bereken de begin-snelheid  $v$  van het ion.

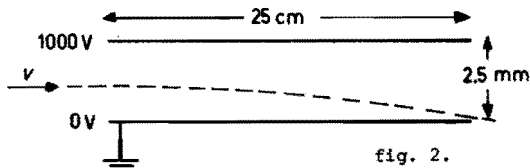


fig. 2.

### Opgave 3

I-22

In een fotocel met een kathode van rubidium loopt een stroom van  $0,8 \mu\text{A}$  doordat de kathode bestraald wordt met monochromatisch licht van  $420 \text{ nm}$  ( $4200 \text{ \AA}$ ). De uittree-energie van rubidium is  $2,13 \text{ eV}$ .

- Bereken de energie van één foton (kwantumenergie) van het gebruikte licht.
- Bereken de grensfrekwentie voor rubidium.
- Met welke maximale kinetische energie verlaten de elektronen de kathode?
- Als tussen anode en kathode een potentiaalverschil van  $6 \text{ V}$  heerst, bepaal dan de maximale energie waarmee de elektronen de anode bereiken.

### Opgave 4

Natuurlijk kalium bestaat voor  $0,012\%$  uit het radioactieve isotoop  $^{40}_{19}\text{K}$ .  $^{40}_{19}\text{K}$  vervalt voor  $90\%$  onder uitzending van  $\beta$ -straling.

- Beschrijf wat met de uitdrukking "natuurlijk kalium" bedoeld wordt.
- Schrijf de volledige reactievergelijking op van het bovengenoemde verval van  $^{40}_{19}\text{K}$ .
- Bereken hoeveel gram radioactief  $^{40}_{19}\text{K}$  aanwezig is in  $10 \text{ g KCL}$ . ( $10 \text{ g KCL}$  bevat  $5,3 \text{ g}$  natuurlijk K).
- Bereken hoeveel atomen  $^{40}_{19}\text{K}$  aanwezig zijn in  $10 \text{ g KCL}$ .

Het aantal radioactieve deeltjes wat door een preparaat per seconde uitgezonden wordt:  $A = \frac{2,2 \cdot 10^{-8} N}{T_{1/2}}$

Hierin is  $N$  het aantal radioactieve atomen en  $T_{1/2}$  de halveringstijd uitgedrukt in jaar.

$T_{1/2}$  voor  $^{40}_{19}\text{K}$  is  $1,3 \cdot 10^9$  jaar.

- Bereken hoeveel  $\beta$ -deeltjes  $10 \text{ g KCL}$  per seconde uitzendt.
- Hoe was het percentage  $^{40}_{19}\text{K}$  in natuurlijke K  $3,9 \cdot 10^9$  jaar geleden?

Midden tussen twee helmholtzspoelen staat een klein horizontaal draaibaar magneetje. De spoelen zijn zo opgesteld dat de as van de spoelen loodrecht staat op de richting van het aardmagnetisch veld (fig. 3). Er loopt dan geen stroom door de spoelen. De afstand van de spoelen is gelijk aan de straal van de spoelen:  $r = \dots$  cm. Het aantal windingen van de spoelen is gelijk:  $N = \dots$

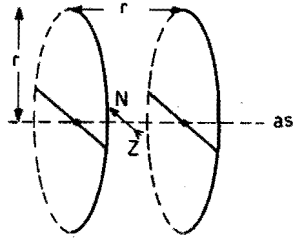


fig. 3

We meten nu welke stroom door de spoelen gaat om het draaibare magneetje een hoek van resp.  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  en  $60^\circ$  met het aardmagnetisch veld te laten maken.

a. Vul de tabel op het antwoordblad in.

b. Teken in de grafiek op het antwoordblad het verband tussen de hoek waarover het magneetje gedraaid is en de stroom  $I$ .

Voor de sterkte van het magneetveld van één spoel in punt P op afstand  $\frac{1}{2} r$  tot het midden van de spoel (fig. 4) geldt:  $B = 4,5 \cdot 10^{-7} \frac{NI}{r}$

c. Bereken de sterkte van het veld t.g.v. de stroom door de spoelen wanneer het magneetje een hoek van  $60^\circ$  met het aardmagnetisch veld maakt (gebruik makend van bovenstaande formule).

Voor de sterkte van het aardmagnetisch veld in Nederland geldt:

horizontale component  $B_h = 1,8 \cdot 10^{-5}$  T

vertikale component  $B_v = 4,3 \cdot 10^{-5}$  T

totale veldsterkte  $B = 4,7 \cdot 10^{-5}$  T

d. Bereken nogmaals de sterkte van het veld t.g.v. de stroom door de spoelen wanneer het magneetje een hoek van  $60^\circ$  met het aardmagnetisch veld maakt (gebruik makend van de sterkte van het aardmagnetische veld in Nederland).

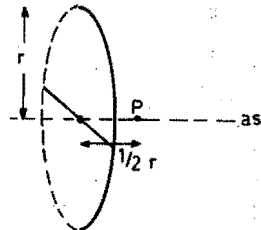
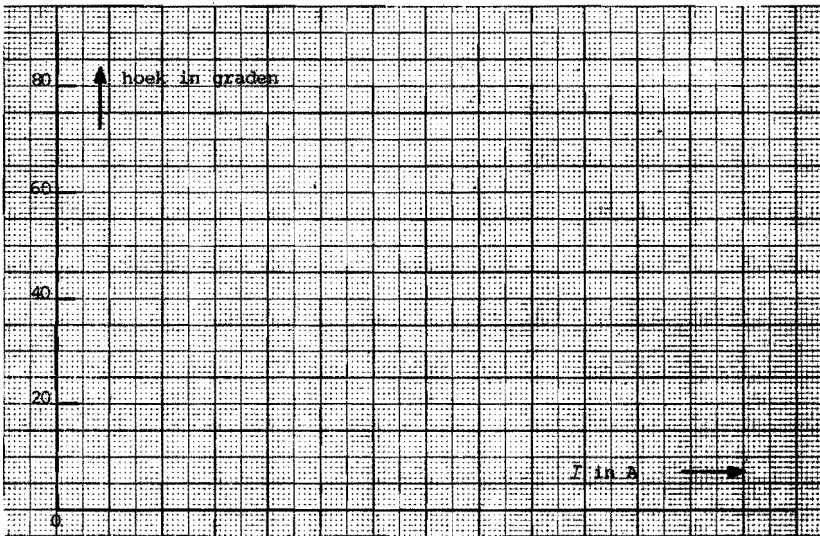


fig. 4

Bij 5a.

hoek	stroomsterkte $I$ ( A )
$30^\circ$	
$45^\circ$	
$60^\circ$	

Bij 5b.

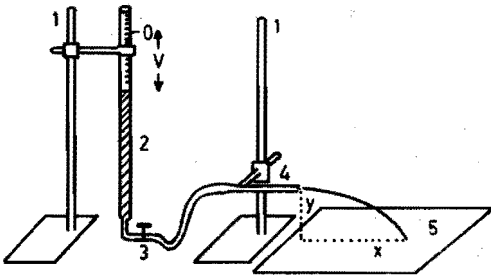




Doel: Door middel van metingen aan uitstroomsnelheid en stroomsterkte van water wordt de grootte van de uitstroomopening van een kapillair bepaald.

### Inleiding

De opstelling waaraan gemeten wordt, is als volgt:



1. statieven
2. buret met schaalverdeling, gevuld met water
3. kraan ( of slangklem)
4. kapillair ( buisje met nauwe uitstroomopening). De oppervlakte van die opening noemen we  $A$
5. Opvangbak

### Notaties

- $x$  = afstand die het water na het uitstromen aflegt in hor. richting  
 $y$  = hoogte kapillair boven de bodem van de bak  
 $u$  = uitstroomsnelheid: snelheid waarmee het water het kapillair verlaat  
 $V$  = volume van het water dat uit het kapillair gestroomd is  
 $I$  = stroomsterkte:  $I = \frac{dV}{dt}$

### Opdrachten vooraf ( max. 10 min.)

1. Stel een relatie op tussen  $I$ ,  $u$  en  $A$
2. Schets hoe  $V$  als functie van de tijd  $t$  er uit zal zien
3. Hoe bepaal je de stroomsterkte  $I$  op een bepaald tijdstip  $t_1$ ?
4. Hoe kun je uit de baan van het water na uitstroming de uitstroomsnelheid bepalen?

LEVER DE ANTWOORDEN OP DE 4 OPDRACHTEN IN EN VRAAG OM EEN VOLGEND BLAD

=====

5. Bouw de opstelling.
6. Meet  $V$  als functie van de tijd  $t$  (aflezen om de 15 seconden).  
Maak een tabel van de meetresultaten.
7. Noteer de laagste stand van het waterpeil ( $V_{\max}$ ). Er stroomt dan geen water meer uit het kapillair.
8. Kies  $V_1$  (ongeveer gelijk aan  $\frac{1}{2}V_{\max}$ ). Vul de buret weer met water en meet  $x$  en  $y$  als het waterpeil bij  $V_1$  staat.

Uitwerking (ca. 30 min.)

9. Verklaar waarom het waterpeil in de buret tenslotte boven de uitstroomopening is blijven staan.
10. Teken  $V$  als functie van de tijd  $t$  in een grafiek.

De stroomsterkte  $I$  van het water kun je uit de grafiek bepalen. De richtingscoëfficiënt van de raaklijn aan de kromme levert

$$\frac{dV}{dt}$$

11. Bepaal de stroomsterkte  $I$  met behulp van de grafiek op het moment dat de waterspiegel de stand  $V_1$  passeert.

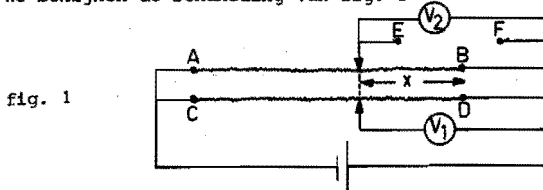
De baan van het uitstromende water is een kogelbaan. Deze kogelbaan ontstaat doordat de zwaartekracht werkt op de horizontaal uitstromende waterdeeltjes. Er geldt horizontaal:  $x = vt$ , vertikaal:  $y = \frac{1}{2}gt^2$

12. Bereken met de metingen van 8 de uitstroomsnelheid op het moment dat de waterspiegel de stand  $V_1$  passeert.
13. Bereken de grootte van de uitstroomopening.
14. De wrijvingskracht van het water langs de wand van het buizensysteem wordt kleiner naarmate de daalsnelheid kleiner is. Hoe zou de  $V$ - $t$ -kromme er uit zien als er geen wrijving zou zijn?

Doel: Het vergelijken van een belaste potentiometer met een onbelaste potentiometer.

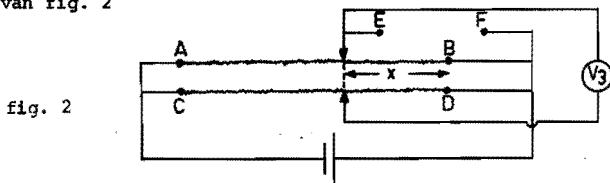
### Inleiding

We bekijken de schakeling van fig. 1



Tussen A en B resp. C en D bevinden zich twee identieke weerstandsdraden. Beschikbaar zijn ook: 2 weerstanden resp.  $R_1 = \dots \Omega$  en  $R_2 = \dots \Omega$  en een lampje van ...

Tussen de klemmen E en F kunnen resp. de weerstanden of het lampje geplaatst worden. De belaste en onbelaste potentiometer kunnen we vergelijken door  $V_1$  en  $V_2$  af te lezen. Het verschil in spanning van  $V_1$  en  $V_2$  kunnen we ook direkt aflezen met behulp van  $V_3$  in de schakeling van fig. 2



### PRAKTISCHE OPDRACHTEN (ca. 30 min.)

1. Stel met behulp van een voltmeter de spanning van het voedingskastje in op ... V.
2. Maak de schakeling van fig. 2. Schakel tussen de klemmen E en F weerstand  $R_1$
3. Lees de spanning op voltmeter  $V_3$  af als de functie van de afstand  $x$  (om de 5 cm aflezen). Maak van de meetresultaten een tabel.
4. Vervang de weerstand  $R_1$  tussen E en F door het lampje. Doe verder hetzelfde als bij 3.

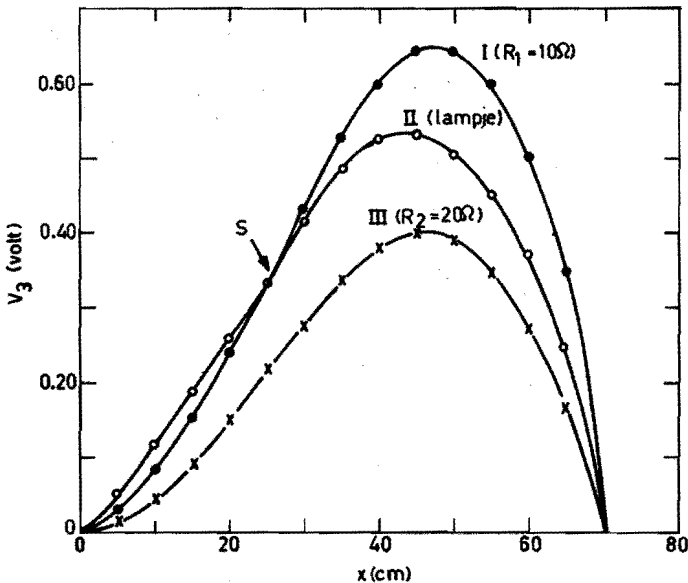
5. Teken in één grafiek het spanningsverschil gemeten met  $V_3$  als functie van de afstand  $x$  voor de gevallen 3 en 4 (krommen I en II).

LEVER DEZE GRAFIEK EN OOK DE MEETRESULTATEN VAN 3 EN 4 IN.

Je krijgt nu een grafiek waarin het spanningsverschil gemeten met  $V_3$  als functie van de afstand  $x$  getekend staat wanneer achtereenvolgens  $R_1$ , lampje en  $R_2$  tussen de klemmen E en F geschakeld zijn (krommen I, II en III).

- Bereken de weerstand van het lampje wanneer het op de juiste spanning brandt uit de gegevens.
- Verklaar waarom krommen I (met  $R_1$ ) en II (met lampje) elkaar in punt S snijden.
- Verklaar waarom er geen snijpunt van krommen II (met lampje) en III (met  $R_2$ ) te vinden is (behalve aan het begin en het einde van de draden).
- Formuleer een konklusie van het experiment.

Grafiek die verstrekt wordt nadat de leerling opdracht 5 heeft uitgevoerd en zijn eigen grafiek heeft ingeleverd.



Bij de praktikumproef "Stroming van water" kwamen vaardigheden verbonden aan experimenteel werk (praktikum) aan de orde betrekking hebbend op (vgl. CITO-lijst):

- A. Voorbereiding van het experiment (vragen 1 t/m 4)  
 B. Uitvoering van het experiment (opdrachten 5 t/m 8)  
 C. Bewerking van de waarnemingen (opdrachten 9 t/m 14).

De 45 punten voor praktikumproef 1 zijn als volgt verdeeld over de onderdelen:

- A. Voorbereiding van het experiment: hypothese stellen, probleem doorzien

1.	1
2.	3
3.	1
4.	2
	<u>3</u>
	TOTAAL 3 punten

- B. Uitvoering van het experiment: opstelling bouwen, waarnemingen doen, aantekeningen maken, evt. herhalen van waarnemingen.

5. handigheid in opbouwen	4
6a. handigheid bij meten	3
b. vastleggen resultaat	3
7. verkrijgen en vastleggen resultaat	2
8a. handigheid bij meten	3
b. resultaat	1
	<u>16</u>
	TOTAAL 16 punten

- C. Bewerking van de waarnemingen: gegevens interpreteren, diagram(men) maken, berekeningen uitvoeren.

9. verklaring verschijnsel	3
10a. schaal kiezen, eenheden en grootheden aangeven getallen langs assen	} 6
b. onafh. variabele horizontaal meetpunten aangeven met meet- onnauwkeurigheid	} 3
kurve tekenen	
11. bewerking in grafiek	2
12. berekening	3
13. berekening	2
14. voorspelling n.a.v. experiment	3
	<u>22</u>
	TOTAAL 22 punten

Bij de praktikumproef "De potentiometerschakeling" kwamen vaardigheden verbonden aan experimenteel werk (praktikum) aan de orde betrekking hebbend op (vgl. CITO-lijst).

B. Uitvoering van het experiment (opdrachten 1 t/m 4)

C. Bewerking van de waarnemingen (opdrachten 5 t/m 8)

D. Verantwoording van verrichtingen en resultaten (opdracht 9).

De 45 punten voor de praktikumproef 2 zijn als volgt verdeeld over de onderdelen:

B. Uitvoering van het experiment: schakeling maken, omgaan met apparatuur, waarnemingen doen, aantekeningen maken.

1. instellen op juiste spanning	2
2. schakeling bouwen en inschakelen	5
3a. handigheid bij meten	2
b. vastleggen van de meetresultaten	3
c. kwaliteit van de metingen	3
4. vgl. 3	8

TOTAAL 23 punten

C. Bewerking van de waarnemingen: grafiek tekenen, meetresultaten interpreteren, berekeningen uitvoeren.

5a. schaal kiezen	
eenheden en grootheden aangeven	3
getallen langs de assen zetten	
b. meetpunten aangeven	
kurve's tekenen, rekening houdend met	6
meetonnauwkeurigheid	
6. met gegevens berekenen	2
7. interpreteren grafiek	3
8. interpreteren grafiek	3

TOTAAL 17 punten

D. Verantwoording van verrichtingen en resultaten.

9. konklusie in eigen woorden weergeven	5
---	---

TOTAAL 5 punten

Algemeen

1. Er zijn 4 praktikumproeven en elke proef wordt uitgewerkt. Voor de uitvoering van elke proef is 15 min. beschikbaar. De tijd beschikbaar voor de uitwerking van alle proeven is 1 uur.
2. Begin tijdens de beschikbare tijd voor de uitvoering van de proeven niet aan de uitwerking, ook al ben je eerder klaar met het experiment. Kijk dan liever nog eens na wat je gedaan hebt en hoe je dat genoteerd hebt.
3. Er is op de bladen steeds ruimte gelaten om notities te maken of vragen te beantwoorden. Wanneer je niet voldoende ruimte hebt, dan kun je met een verwijzingsteken achterop de bladen verdergaan.

M.b.t. de uitvoering

Bij de metingen wordt van je verwacht dat je zo nauwkeurig mogelijk meet, dat je metingen herhaalt en de metingen zo noteert dat hieruit blijkt hoe nauwkeurig je gemeten hebt. Dit geldt vooral voor de proeven "veerenergie" en "een slinger slingert in lucht en water". De uitvoering van deze proeven wordt namelijk achteraf beoordeeld aan de hand van de notities die je gemaakt hebt. Van de andere twee proeven wordt de uitvoering beoordeeld terwijl je bezig bent met experimenteren.

M.b.t. de uitwerking

1. Bij de proef "veerenergie" moet je het antwoord bij onderdeel 5 laten controleren voordat je verder gaat.
2. Bij de proef "stroomspoel als regelbare magneet" moet bij onderdeel 5 de veerconstante gegeven worden. Vraag als je hem nog niet hebt.

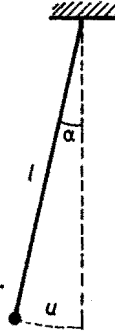
EEN SLINGER SLINGERT IN LUCHT EN IN WATER

III-2

Voor kleine uitwijkingshoek  $\alpha$  kan voor de slingertijd van een slinger in vakuum afgeleid worden:  $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

Doel: vergelijking van slingertijden van slingers in lucht en in water.

Daartoe meten we zowel in lucht als in water de slingertijden van twee slingers: een ijzeren bol (1) aan een touwtje en een aluminium bol (2) aan een touwtje. De lengte van het touwtje bedraagt voor beide slingers 1,00 m.



Opdrachten

1. Laat beide bolletjes in lucht slingeren en bepaal voor ieder bolletje de slingertijd. Noem deze tijden resp.  $T_{L,1}$  en  $T_{L,2}$

meting	$T_{L,1}$ (s)	$T_{L,2}$ (s)
1		
2		
3		

- bepaal  $\bar{T}_{L,1}$  en  $\bar{T}_{L,2}$

$\bar{T}_{L,1} =$

$\bar{T}_{L,2} =$

- beschrijf kort hoe je de slingertijden hebt gemeten.

2. Bepaal op dezelfde manier als onder 1. de slingertijden in water,  $\bar{T}_{W,1}$  en  $\bar{T}_{W,2}$ .

meting	$T_{W,1}$ (s)	$T_{W,2}$ (s)
1		
2		
3		

$\bar{T}_{W,1} =$

$\bar{T}_{W,2} =$

3. Bepaal de diameter van beide bolletjes  $D_1 =$   $D_2 =$

4. Ga na of de slingertijd in water door de demping verandert. Geef kort aan hoe je dit gedaan hebt.



5. Bereken voor beide bolletjes de slingertijden in lucht en vergelijk de berekende slingertijden met de gemeten tijden.

6. Naast de lengte van de slinger en de zwaartekracht speelt ook de opwaartse kracht een rol bij de slingertijd in water. Leid af dat voor de slingertijd in water geldt:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g - \frac{F_{\text{opw}}}{m}}}$$

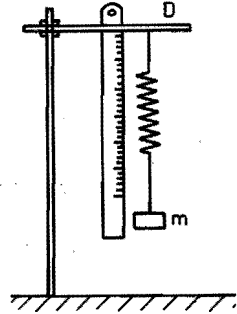
7. Bereken voor beide bolletjes de slingertijden in water en vergelijk de berekende waarden met de gemeten waarden.

8. Beredeneer, zonder gebruikmaking van de gegeven formule, dat in water de slingertijd van een platina bolletje van dezelfde diameter nagenoeg gelijk is aan de slingertijd in lucht.

Doel: het meten aan de energieomzetting die plaats vindt bij massa's die plotseling aan een veer gehangen worden.

Opdrachten

1. Maak de opstelling zoals de figuur aangeeft.
2. Breng de massa  $m$  omhoog tot de veer ontspannen is. Laat dan de massa  $m$  los. Stel de hoogte van de dwarsstaaf  $D$  zodanig in dat  $m$  na het loslaten de tafel nog maar juist raakt. Meet nu de afstand  $h$  van de tafel tot de onderkant van het blokje terwijl de veer ontspannen is. Bepaal zo  $h$  voor de vier waarden van  $m$ .



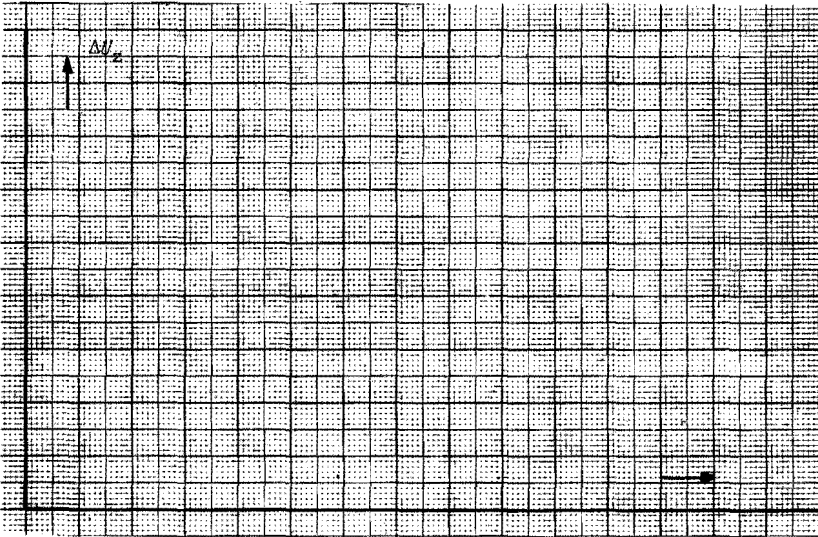
$m$ in g	$h$ in cm

3. Doe metingen met het aanwezige materiaal om de veerconstante  $C$  te kunnen berekenen. Beschrijf duidelijk wat je gedaan hebt. Bereken  $C$ .

4. Bereken voor de 4 massa's de afname van de zwaarte-energie ( $\Delta U_z$ ) vanaf het moment van loslaten tot het moment dat ze de tafel raken. Vul de tabel in.

$m$	$h$	$\Delta U_z$

5. Uit de tabel blijkt dat  $\Delta U_z$  en  $h$  zeker niet evenredig zijn. Een diagram met vertikaal  $\Delta U_z$  en horizontaal  $h$  wordt dus geen rechte lijn. Er ontstaat wel een rechte lijn als we vertikaal  $\Delta U_z$  uitzetten en horizontaal ..... ( vul zelf in).
6. Teken het diagram waarin de grafiek een rechte lijn oplevert.



7. Hoe groot is de kinetische energie van de massa op het moment van loslaten?

En op het moment dat de massa de tafel raakt?

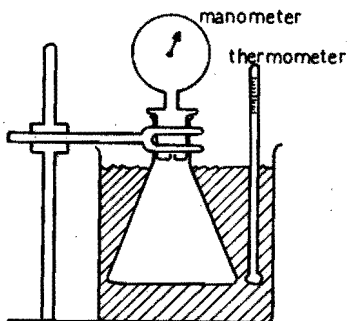
8. Leid een relatie af tussen  $\Delta U_z$ ,  $h$  en  $C$ .

9. Bereken uit diagram de waarde van  $C$  en controleer of deze overeenstemt met de reeds eerder gevonden waarde.

Doel: het vinden van het verband tussen de druk van verzadigde waterdamp en de temperatuur.

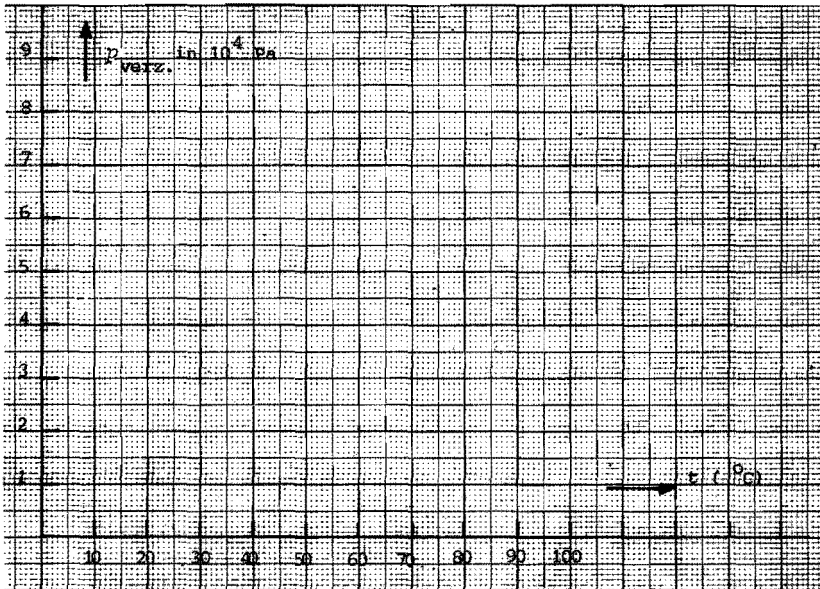
Opdrachten

1. Vul de erlemeyer met een beetje water. Breng dit aan de kook en laat zolang doorkoken totdat naar jouw mening de lucht in de erlemeyer is verdriven door de waterdamp. Sluit vervolgens de erlemeyer af met een kurk + metaalmanometer.
2. Lees de manometer af bij 4 à 5 verschillende temperaturen met behulp van de opstelling in de figuur. Je kunt hiervoor koud water uit de kraan mengen met warm water van ca.  $80^{\circ}\text{C}$  dat beschikbaar is.  $b = \dots$  Bereken de druk van de verzadigde damp. Vul de tabel in.

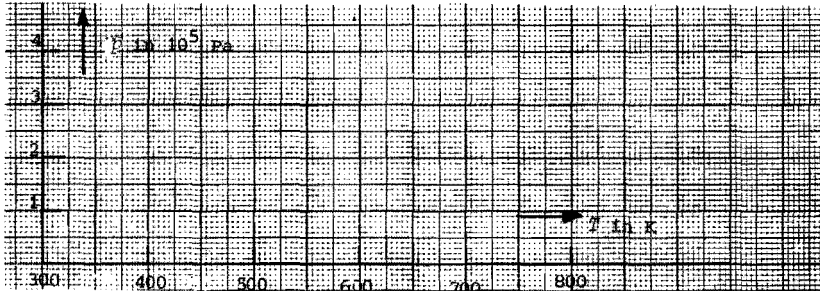


$t$ in $^{\circ}\text{C}$	$p_{\text{gemeten}}$ in Pa	$p_{\text{verz.}}$ in Pa

3. Teken op grafiekenpapier het verband tussen de gemeten dampspanning en de absolute temperatuur.
4. Teken in dezelfde grafiek het verband tussen de literatuurwaarden van de spanning van verzadigde waterdamp en de absolute temperatuur.



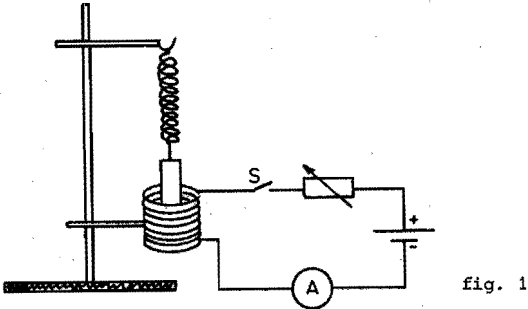
5. Stel dat er wat lucht in de erlemeyer is achtergebleven bij het sluiten. Welke invloed heeft dit op de gemeten dampspanning ten opzichte van de literatuurwaarden van verzadigde waterdamp? Licht het antwoord toe.
6. Maak met behulp van de grafieken een schatting van de hoeveelheid lucht in de erlemeyer nadat hij afgesloten is.
7. Als de erlemeyer met de nodige voorzorgmaatregelen goed afgesloten is, kan men ook warmte toevoeren en de druk trachten te bepalen. Schets in onderstaande grafiek het drukverloop voor temperaturen boven de 100°C.



Inleiding: een magneet wordt aan een veer bevestigd en in een spoel gehangen. Wanneer de stroom door de spoel groter wordt, wordt de magneet steeds krachtiger in de spoel getrokken.

Opdrachten:

1. Maak de schakeling van figuur 1. Zorg dat de magneet bij gesloten schakelaar in de spoel getrokken wordt.



2. Op de magneet is een merkstreep aangebracht. Door de klem langs het statief te verschuiven kun je er voor zorgen dat de magneet steeds in dezelfde stand in de spoel hangt. (Merkstreep gelijk houden met de bovenkant van de spoel). Meet de uitrekking van de veer ( met magneet) als functie van de stroom door de spoel. Noteer je metingen in onderstaande tabel.

$I$ in A	Uitrekking $u$ in cm
0,2 A	
0,4 A	
0,6 A	
0,8 A	
1,0 A	

3. Meet in de opstelling van figuur 1 de trillingstijd van de magneet aan de veer met een stroom van 0,3 A door de spoel en de trillingstijd van de magneet aan de veer zonder stroom door de spoel.

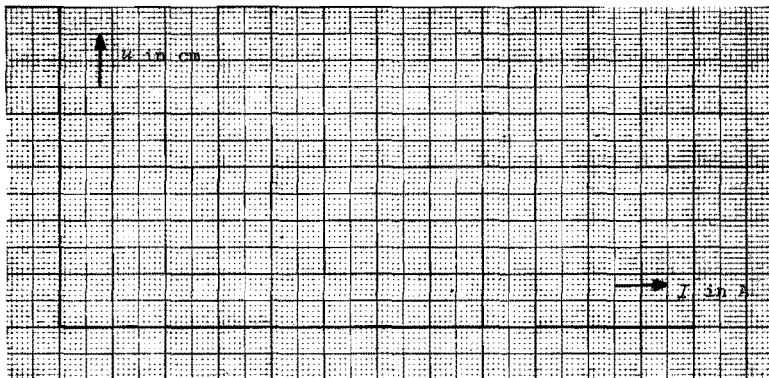
$I = 0,3$ A	$T =$
$I = 0,0$ A	$T =$

Noteer hoe je de meting verricht hebt.

4. Noteer wat je ziet bij de bepaling van de trillingstijden in opdracht 3.

5. De veerconstante van de veer uit deze opstelling is ... N/m.

Teken de uitrekking  $u$  van de veer als functie van  $I$ .



Bereken de evenredigheidsconstante tussen de kracht waarmee de magneet in de spoel wordt getrokken ( $F$ ) en de stroomsterkte door de spoel ( $I$ ).

6. Van welke grootheden hangt deze evenredigheidsconstante af?

7. Verklaar dat de trilling van de magneet aan de veer in het geval van stroom door de spoel

- a) meer gedempt is
- b) een andere trillingstijd heeft

8. Geef een verklaring voor de beweging van de ampèremeter in de opstelling van figuur 1 als de magneet trillingen uitvoert in de spoel.  
Zie opdracht 3 en 4.

Een slinger slingert in lucht en water

1. metingen	2	5. twee berekeningen	2
beschrijving	2	+ vergelijking	1
2. metingen	2	6. afleiding	3
3. bepaling diameters	1	7. berekeningen	2
4. beschrijving van		+ vergelijking	1
handelingen met		8. verklaring	3
konklusie	3		
uitvoering	10 pnt	uitwerking	12 pnt

Veerenergie

1. -		4. tabel invullen	2
2. metingen		goede eenheden	1
metingen herhalen		5. antwoord	2
nauwkeurigheid	6	6. getallen langs assen	2
noteren in tabel		eenheden langs assen	
3. bepaling + beschrijving	5	punten + kromme	2
		7. berekening	2
		8. afleiding	2
		9. berekening + controle	3
uitvoering	11 pnt	uitwerking	16 pnt

De verzadigingsdruk van water

1. opstelling maken met		3. punten + kromme tekenen	3
juiste hoeveelheid water	5	4. punten + kromme	2
met controle handelingen		5. beschrijving	3
+ veiligheidsaspecten		6. berekening	3
2. keuze meetpunten +	7	7. schets van verloop	3
handelingen + invullen			
tabel			
uitvoering	12 pnt	uitwerking	13 pnt

Stroomspoel als regelbare magneet

1. opstelling + schakeling		5. getallen langs assen	1
maken	3	punten + kromme	2
2. handelingen uitvoeren +	5	berekening	2
metingen verrichten		6. noemen grootheden	2
3. idem	3	7. twee verklaringen	4
4. notities	2	8. verklaring	2
uitvoering	13 pnt	uitwerking	13 pnt

Totaal uitvoering 46 punten

Totaal uitwerking 54 punten



1. opstelling maken  
erlemeyer met water vullen  
water aan kook brengen  
moment van plaatsen kurk  
manier van plaatsen kurk  
handelingen m.b.t. veiligheid
2. aflezen manometer in begin (100°C)  
manier van mengen  
spreiding van meetwaarden  
manier van aflezen  
korrektie voor  $b$   
herhalen twijfelachtige metingen  
handelingen m.b.t. veiligheid  
vastleggen van waarnemingen

Opmerkingen:

Stroomspoel als regelbare magneet: observatiepunten

1. opstelling maken  
schakeling maken  
oriënterende handelingen verrichten  
schaalbereik A-meter  
stand schuifweerstand
2. magneet steeds goed in spoel hangen  
stroomsterkte regelen,  
meten van de uitrekking  
nauwkeurigheid  
noteren van de waarnemingen  
herhalen twijfelachtige metingen
3. oriënterende meting verrichten  
trillingstijd bepalen bij 0,3A  
trillingstijd bepalen bij 0,0A  
manier waarop  $T$  bepaald is  
noteren van  $T$  met nauwkeurigheid  
beschrijven manier waarop  $T$  bepaald is  
rekening houden met opdracht 4
4. metingen van opdracht 3 overdoen  
beschrijving van het waargenomene

Opmerkingen:

Algemeen

1. Er zijn 4 praktikumproeven en elke proef wordt uitgewerkt. Voor de uitvoering van elke proef is 15 min. beschikbaar. De tijd beschikbaar voor de uitvoering van alle proeven is 1 uur.
2. Begin tijdens de beschikbare tijd voor de uitvoering van de proeven niet aan de uitwerking, ook al ben je eerder klaar met het experiment. Kijk dan liever nog eens na wat je gedaan hebt en hoe je dat genoteerd hebt.
3. Er is op de bladen steeds ruimte gelaten om notities te maken of vragen te beantwoorden. Wanneer je niet voldoende ruimte hebt, dan kun je met een verwijzingsteken achterop de bladen verder gaan.

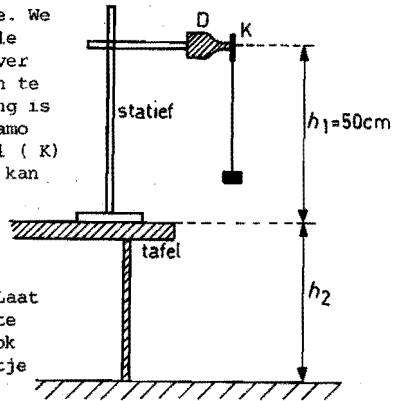
M.b.t. de uitvoering

1. Bij de metingen wordt van je verwacht dat je zo nauwkeurig mogelijk meet, eventueel metingen herhaalt en de metingen zo noteert dat hieruit blijkt hoe je gemeten hebt. Dit geldt vooral voor de proeven "Elektriciteit opwekken" en "Lens en L.D.R.". De uitvoering van deze proeven wordt namelijk achteraf beoordeeld aan de hand van de notities die je gemaakt hebt. Van de andere twee proeven wordt de uitvoering beoordeeld terwijl je bezig bent met experimenteren.
2. Bij de proeven "Elektriciteit opwekken" en "Lens en L.D.R." staat de opstelling zoveel mogelijk gebruiksklaar.
3. Bij de proef "Lampcalorimetrie" moet de warmtecapaciteit van de calorimeter met toebehoren gegeven worden.
4. Bij de proef "Maak zelf een gelijkrichtcel" behoeft vraag 5 niet beantwoord te worden.

M.b.t. de uitwerking

Vraag meetresultaten wanneer je zelf niet voldoende metingen hebt verkregen om de grafieken te kunnen tekenen.

Inleiding: met een dynamo wordt mechanische energie omgezet in elektrische. We gaan aan een fietsdynamo enkele metingen verrichten om iets over deze energieomzetting te weten te komen. In de gegeven opstelling is het gewone wieltje van de dynamo ( D ) vervangen door een katrol ( K ) waar een touwtje om gewikkeld kan worden.



Oprachten:

1. Meet de hoogte van de tafel  $h_2 =$
2. Belast de dynamo met de ampèremeter. Laat de dynamo draaien door het gewichtje te laten zakken. Laat iedere keer, dus ook bij alle volgende metingen het gewichtje bovenaan bij K beginnen. Meet de valtijd van het gewichtje over de afstand  $h_1 + h_2$  en meet de maximale stroomsterkte, die de ampèremeter aanwijst.

$$t = \quad I_{\max.} =$$

Beschrijf de beweging van het gewichtje.

3. Meet nu in dezelfde opstelling drie maal de valtijd over de afstand  $h_2$  ( wel bovenaan beginnen) en de maximale stroomsterkte. Bereken daarna de gemiddelde waarden van  $t$  en  $I_{\max.}$

$t$	$I_{\max}$

$$\bar{t} =$$

$$\bar{I}_{\max} =$$

4. Belast de dynamo met de ampèremeter in serie met een weerstand van  $10 \Omega$ . Let op de beweging die het gewichtje uitvoert. Het valt op dat, ...

Meet driemaal de valtijd over de afstand  $h_2$  en de maximale stroomsterkte.

$t$	$I_{\max}$

$$\bar{t} =$$

$$\bar{I}_{\max.} =$$

5. Laat de opstelling achter zoals je hem gevonden hebt.

6. Beschrijf zo zorgvuldig mogelijk welke energie omzettingen plaats vinden bij het uitvoeren van de proef.

7. Met welke snelheid komt het gewichtje op de grond bij de opdrachten 3 en 4? Geef een verantwoording van de antwoorden.

$$v_{\text{opdracht 3}} =$$

$$v_{\text{opdracht 4}} =$$

8. Bereken de elektrische energie die in de weerstand van  $10\Omega$  "verbruikt" wordt als het gewichtje over de afstand  $h_2$  valt (zie opdracht 4).

9. Bereken de afname van de mechanische energie, wanneer het gewichtje over de afstand  $h_2$  valt.

10. Bereken uit de resultaten van 8 en 9 het rendement van de dynamo.

Inleiding: Een Light Dependent Resistor is een lichtgevoelige weerstand. De waarde van de weerstand neemt af wanneer de hoeveelheid licht die er op valt groter is. Met een L.D.R. onderzoeken we de intensiteitsverdeling in een lichtbundel.

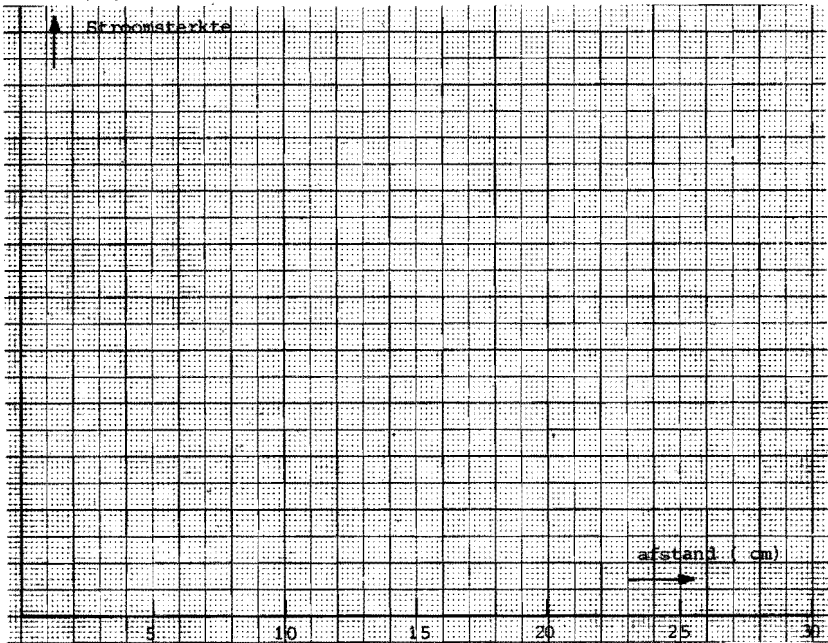
Opdrachten

1. Bepaal de brandpuntsafstand van de lens. Beschrijf kort hoe je dat gedaan hebt.
2. Plaats het gloeilampje (aangesloten op 5 V) op een afstand  $2f$  voor de lens. Wat is de plaats van het beeld? Licht toe hoe je er aan komt.
3. Plaats het scherm met de L.D.R. achter de lens tegen de lens aan. Zorg dat de L.D.R. centraal in de lichtkegel staat. Verschuif het scherm vervolgens van de lens af en meet om de 2 cm de stroom door de L.D.R. Vul de tabel in.

afstand lens-scherm in cm	stroom $I$ in A	Opmerkingen
0,0		
2,0		
4,0		
6,0		
8,0		
10,0		
12,0		
14,0		
16,0		
18,0		
20,0		

4. Bepaal de nulstroom  $I_0$  die optreedt t.g.v. het licht van de omgeving.  
 $I_0 =$  Hoe heb je  $I_0$  bepaald?

5. Teken een grafiek waarin de stroom door de L.D.R. t.g.v. het licht van de lichtbron L uitgezet is als functie van de afstand van de L.D.R. tot de lens.



6. Verklaar waarom bij toenemende afstand lens tot L.D.R. ( zie opdracht 3) de grafiek aanvankelijk sterk oploopt.

7. Teken in bovenstaand diagram eveneens hoe de grafiek van de stroom verder zal verlopen van afstand  $2f$  tot afstand  $3f$ .

Doel: we willen nagaan of het afgegeven vermogen van een autolamp overeenkomt met het opgegeven elektrische vermogen.

We plaatsen daartoe een autolamp, volgens de fabrikant 40 W, 12 V, tot aan de fitting in een bak met water en meten de temperatuurstijging van het water, als functie van de tijd.

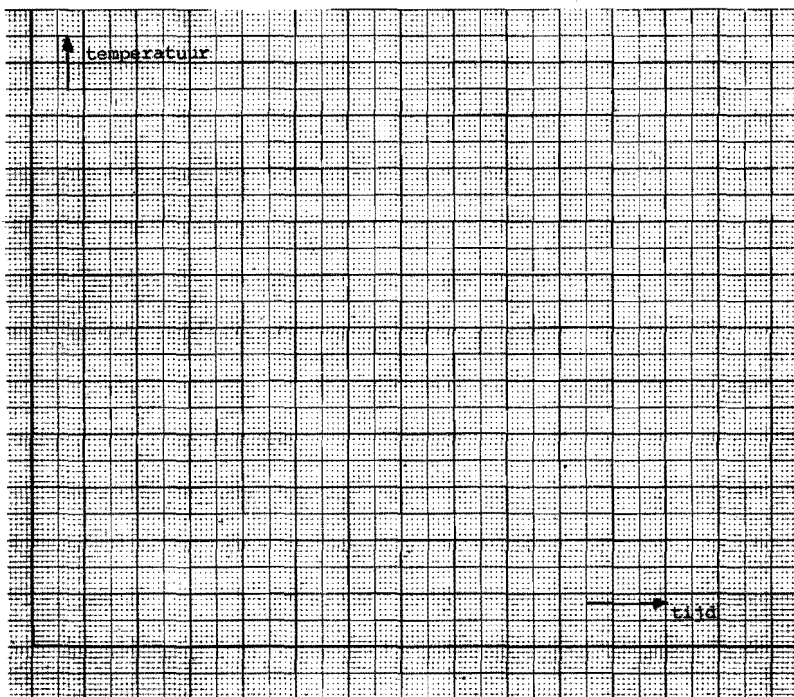
Opdrachten

1. Bouw een opstelling met calorimeter (warmtecapaciteit ...), gevuld met water, lamp op deksel met gaten voor thermometer en roerder, schakelaar en snoeren veilig naar eigen inzicht.
2. Laat de opstelling controleren.
3. Meet de temperatuur van het water als functie van de tijd.

tijd ( min)	temp ( °C)	tijd ( min)	temp ( °C)
0,5		5,0	
1,0		5,5	
1,5		6,0	
2,0		6,5	
2,5		7,0	
3,0		7,5	
3,5		8,0	
4,0		8,5	
4,5		9,0	

4. Noteer zoveel mogelijk gegevens, nodig om het afgegeven vermogen van de lamp te berekenen.

5. Zet in een grafiek de temperatuur als functie van de tijd uit.



6. Bereken het afgegeven vermogen van de lamp met behulp van de grafiek.

7. In hoeverre denk je dat het licht dat uit de calorimeter ontsnapt invloed heeft op de meetresultaten. Licht het antwoord toe.



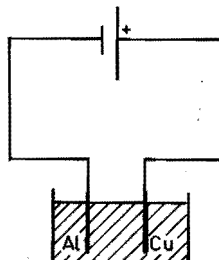
Inleiding: een gelijkrichtcel laat de stroom in de ene richting wel en in de andere richting niet door. We proberen zo'n cel te maken m.b.v. aluminiumfolie (= zilverpapier).

We scheuren een strook Al-folie af van de rol en hangen het in een bekeerglas water waaraan een theelepel zuiveringszout ( $\text{NaHCO}_3$ ) is toegevoegd. Vervolgens voeren we stroom door de oplossing.

Wanneer het Al-folie verbonden is met de negatieve pool van de spanningsbron dan is de overgang vloeistof-Al goed geleidend.

Wanneer het Al verbonden is met de positieve pool van de spanningsbron dan ontstaat op het Al een isolerend laagje door een chemische reactie.

Een laagje van b.v. 0,0001 mm blokkeert de stroom vrijwel volledig.



Opdrachten

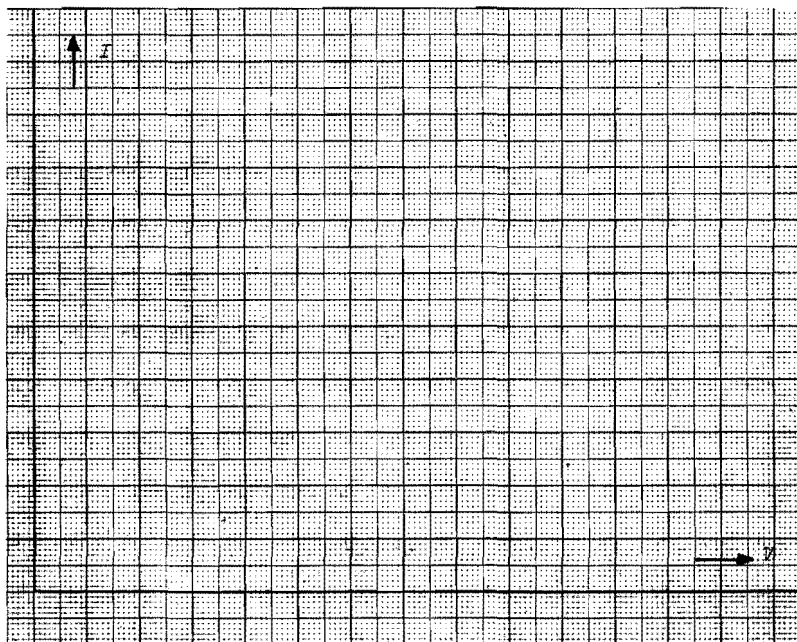
1. Het Al wordt eerst goed schoongemaakt m.b.v. de schakeling uit nevenstaande figuur. Maak deze schakeling en laat controleren.
2. Laat nu gedurende 3 minuten een stroom van 200 mA door de oplossing gaan. De beginspanning  $V_{\text{begin}} = \dots$   
Noteer wat je ziet en doet en zet na 3 minuten het voedingskastje uit.
3. Trek hierna de strook Al 1 cm uit de vloeistof op. De elektroden mogen nu niet meer verplaatst worden. Zet het voedingskastje weer aan. Noteer de stroom:  $I = \dots$   
Opmerking:
4. Noteer de stroomsterkte  $I$  als functie van de spanning  $V$ . Maak hiervoor de spanning in stappen van ca. 2,5 V lager. Wacht steeds ca. 30 s alvorens de stroomsterkte af te lezen. Verricht ook metingen bij negatieve spanning tot ongeveer - 10 V.

V	I	Opmerkingen

5. Formuleer een voorlopige konklusie.

6. Waarom is de gemeten stroomsterkte na het optrekken van de strook Al ( opdracht 3) ineens kleiner geworden?

7. Zet in een grafiek de stroomsterkte  $I$  uit als functie van  $V$  ( opdracht 4)



8. Formuleer een konklusie.

Elektriciteit opwekken

1. meting	1	6. beschrijving energie- omzettingen	3
2a. meting	1	7. berekeningen	2
b. beschrijving	3	verantwoording	2
3. metingen	2	8. berekening	2
4a. waarneming	2	9. berekening	2
b. metingen	2	10. berekening	2
	-		
	<u>11</u> pnt		<u>13</u> pnt

Lens en L.D.R.

1. brandpuntsaf- standbepaling met beschrijving	3	5. getallen + eenheid y-as punten + kromme tekenen	2
2. bepaling plaats beeld	2	6. verklaring	2
3a. metingen	2	7. verder verloop kromme	3
b. opmerkingen	2		
4. nulstroombepaling	2		
	<u>11</u> pnt		<u>9</u> pnt

Lampcalorimetrie

1/2. veiligheid handigheid volledigheid	} 5	5. getallen langs assen eenheden langs assen punten + kromme tekenen	} 2
3. handigheid bij meten voldoende roeren noteren van de metingen	} 5	6. berekening	2
4. hoeveelheid water	2	7. verklaring	3
	<u>12</u> pnt		<u>10</u> pnt

Maak zelf een gelijkrichtcel

1. Al. folie bevestigen	1	6. verklaring	2
schakeling maken	2	7. getallen langs assen eenheden langs assen	} 2
2. handeling + meting + beschrijving	3	punten + kromme	3
3. handeling + meting + beschrijving	3	8. formulering konklusie	3
4a. handigheid bij meten	1		
noteren van metingen	2		
b. opmerkingen noteren	2		
5.	-		
	<u>14</u> pnt		<u>10</u> pnt

TOTAAL      48 punten

TOTAAL      42 punten

- 1/2. calorimeter met water vullen  
opstelling bouwen  
handigheid schakeling maken  
veiligheid opstelling  
volledigheid opstelling  
schakeling goed/fout
3. controle beginstand  
handigheid meten  
kwaliteit metingen  
nauwkeurigheid metingen  
noteren van metingen  
noteren van dubieuze metingen
4. noteren van alle gegevens  
noteren van hoeveelheid water.

Opmerkingen:

Maak zelf een gelijkrichtcel: observatiepunten

1. bevestigen Al-folie  
handigheid schakeling maken  
schakeling goed/fout
2. noteren beginspanning  
bijregelen spanning voor konstante stroom  
waarnemen gedurende stroomdoorgang  
voedingskastje uit na 3 min.  
noteren van waarnemingen
3. strook Al optrekken  
voedingskastje aanzetten  
stroom noteren  
waarnemen  
waarnemingen noteren
4. handigheid bij meten  
wachtijd 30 s.  
voldoende waarnemingen doen  
goede spreiding in acht nemen  
letten op nauwkeurigheid  
noteren metingen  
waarnemen  
bijzonderheden noteren

Opmerkingen:

direkt na de uitwerking van de vier proeven gedurende de cursus 1981/82.

Vragen

1. Viel dit schoolonderzoek mee of tegen? Waarom?
2. Hoe denk je dat je dit schoolonderzoek gemaakt hebt?
3. Was je tijdens dit schoolonderzoek zenuwachtiger dan tijdens andere schoolonderzoeken?
4. Wat vond je van de proeven?
5. Wat had je liever gehad: Meer proeven en makkelijkere uitwerkingen of minder proeven en moeilijkere uitwerkingen?
6. Vond je de tekst overzichtelijk?
7. Van welke proef was de uitvoering het moeilijkste?
8. van welke proef was de uitvoering het eenvoudigste?
9. Heb je je bij de uitvoering van de proeven moeten haasten?
10. Vind je dat je te veel of te weinig praktikum hebt gehad in de afgelopen jaren? Hoeveel is zinvol?
11. Van welke proef was de uitwerking het moeilijkste?
12. Van welke proef was de uitwerking het eenvoudigste?
13. Had je tijd genoeg voor de uitwerking van de proeven?
14. Heb je zelf nog opmerkingen over dit schoolonderzoek?

In de opstelling is een toongenerator aangesloten op een oscilloskoop.

AAN DE INSTELLING HOEF JE ZELF VERDER NIETS TE VERANDEREN.

De tijdbasis is ingesteld op 1,0 ms per schaaldeel (een afstand op het scherm van één cm komt dus overeen met 1,0 ms).

Opdracht 1

Bepaal uit het beeld de periodeduur (trillingstijd) en vul de waarde daarvan hieronder in:

$$T = \dots$$

Opdracht 2

Lees af op welke frekwentie de toongenerator is ingesteld en vul de waarde hieronder in.

$$f = \dots$$

Het volgende onderdeel is bedoeld om met een stroboskopische lamp het toerental (= omwentelingsfrekwentie) van een draaiende motor te bepalen.

Opdracht 3

Bepaal nadat je de motor hebt aangezet met de stroboskopische lamp het toerental van de motor.

$$f = \dots$$

AANWIJZING: Het toerental is groter dan 10 Hz.

Opdracht 1.	Afgelezen waarde	(0 - 1 - 2)	...
	Eenheid aangegeven	(0 - 1)	...
Opdracht 2.	Afgelezen waarde	(0 - 2)	...
	Eenheid aangegeven	(0 - 1)	...
Opdracht 3.	Inschakelen lamp	(0 - 1)	...
	(int/ext knop wordt gebruikt 0)		
	- Er wordt gedraaid zonder resultaat.		
	- De frekwentie wordt verhoogd tot een stilstaand beeld verkregen wordt		
	- Er wordt nog verder gezocht bij hogere frekwenties		
	- Er wordt gecontroleerd of bij dubbele frekwentie een dubbel beeld wordt waargenomen.		
		(0 - 1 - 2 - 3)	...
			<hr/>
	Totaal aantal punten		...

Opdracht 1

Bepaal met behulp van de balans, zo nauwkeurig mogelijk de massa van het blokje. Vul de gevonden waarde hieronder in.

$$m = \dots$$

Opdracht 2

Lees af hoeveel vloeistof er in de maatbeker zit, en noteer het volume hieronder.

$$V = \dots$$

Opdracht 3

Bepaal met behulp van de schuifmaat de diameter van de staaf, en vul de waarde hieronder in.

$$d = \dots$$

Docentenblad proef b

Naam .....

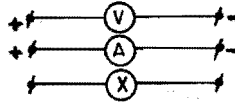
Opdracht 1.	Kontrolenulstand	(0,2)	...
	Nauwkeurigheid	(0,1,2)	...
	Eenheid	(0,1)	....
Opdracht 2.	Kijkt in het vlak	(0,1)	...
	Nauwkeurigheid	(0,1,2)	...
	Eenheid	(0,1)	...
Opdracht 3.	Nauwkeurigheid nonius	(0,1,2)	...
	Eenheid	(0,1)	...
	Totaal aantal punten		.....



Het meten van de spanning over een lamp en de stroom door een lamp.

Het symbool van de spanningsmeter is:

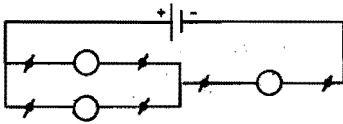
Het symbool van de stroommeter is:



Het symbool van de lamp is:

Opdracht 1

Maak het schema af door de symbolen compleet te tekenen.



Opdracht 2

Schakel de spanning in met de schakelaar van de spanningsbron en meet zo nauwkeurig mogelijk de stroomsterkte door de lamp.

$I = \dots$

Opdracht 3

Kijk of de spanningsmeter goed op nul staat en meet zo nauwkeurig mogelijk de spanning over de lamp.

$V = \dots$

Docentenblad proef c

Naam .....

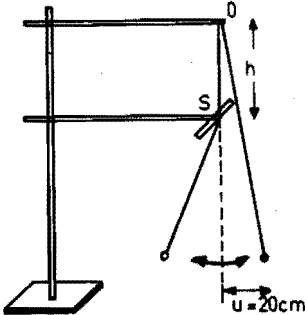
- |             |  |                      |
|-------------|--|----------------------|
| Opdracht 1. | Is de V- en A-meter goed geplaatst?    | (0,4) ja/nee ...     |
|             | Is de + van de V-meter goed geplaatst? | (0,1) ja/nee ...     |
|             | Is de + van de A-meter goed geplaatst? | (0,1) ja/nee ...     |
| Opdracht 2. | Kiest de leerling gelijkstroom?        | (0,1) ja/nee ...     |
|             | De leerling kiest ... bereik           | (0,1) ...            |
|             | Is de aflezing goed?                   | (0,1,2) ja/nee ...   |
| Opdracht 3. | Poolt de leerling de meter om?         | (0,1) ja/nee ...     |
|             | Kiest de leerling gelijkspanning?      | (0) ja/nee ...       |
|             | De leerling kiest ... bereik           | (0,1) ...            |
|             | Is de aflezing goed?                   | (0,1,2,3) ja/nee ... |

Totaal aantal punten ...

1. Er zijn 2 praktikumproeven en elke proef wordt uitgewerkt. Voor de uitvoering van elke proef is 30 min. beschikbaar, voor de uitwerking eveneens 30 minuten.
2. Begin tijdens de beschikbare tijd voor de uitvoering van de proeven bij voorkeur niet aan de uitwerking, ook al ben je eerder klaar met het experiment. Kijk dan liever nog eens na wat je gedaan hebt en hoe je dat genoteerd hebt.
3. Er is op de bladen steeds ruimte gelaten om notities te maken of vragen te beantwoorden. Wanneer je niet voldoende ruimte hebt, dan kun je met een verwijzingsteken achterop de bladen verder gaan.
4. Neem ruim de tijd om de opdrachten zorgvuldig te lezen: bezint eer ge begint.
5. Bij de metingen wordt van je verwacht dat je zo nauwkeurig mogelijk meet, eventueel metingen herhaald en de metingen zo noteert dat hieruit blijkt hoe je gemeten hebt. Zorg dat de tabellen er netjes uitzien.
6. Vraag meetresultaten wanneer je zelf niet voldoende metingen hebt gedaan om de grafieken te kunnen tekenen.
7. Laat de opstelling zoveel mogelijk zo achter als je hem gevonden hebt, dus schakelingen "afgebroken" en statiefopstellingen "gehandhaafd".
8. Zet steeds je naam boven de bladen die je krijgt.
9. Sukses ermee!

Doel: het onderzoeken van de slingertijd van een slinger die niet volledig vrij kan slingeren. Als handicap is een " vast punt" geïntroduceerd.

Opstelling:



een dwarsstaafje eveneens bevestigd aan het statief zorgt voor een vast punt S.

Uitvoering

1. Maak de opstelling van bovenstaande figuur. Zorg dat het vaste punt S zich precies onder het ophangpunt O bevindt. Meet de slingertijd  $T$ .

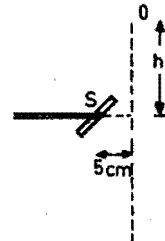
$T = \dots$  cm

2. Meet de slingertijd  $T$  van de gehandicapte slinger als functie van de afstand  $OS = h$ . Kies  $u = 20$  cm. Zet de resultaten in onderstaande tabel ( in de tabel is ruimte die naar eigen inzicht gebruikt moet worden).

$h$ ( cm )		$T$ ( s )
0		
10		
20		
30		
40		
50		
60		
70		

3. Verander nu de positie van het vast punt S zodanig dat het 5 cm. naast de vertikaal neergelaten vanuit O komt te liggen ( zie fig. ). Meet nu eveneens deze slingertijd  $T'$  als functie van  $h$  ( zie fig.) waarbij opnieuw  $u = 20$  cm en vul onderstaande tabel in.

$h$ ( cm )		$T'$ ( s )
30		
40		
50		
60		
70		



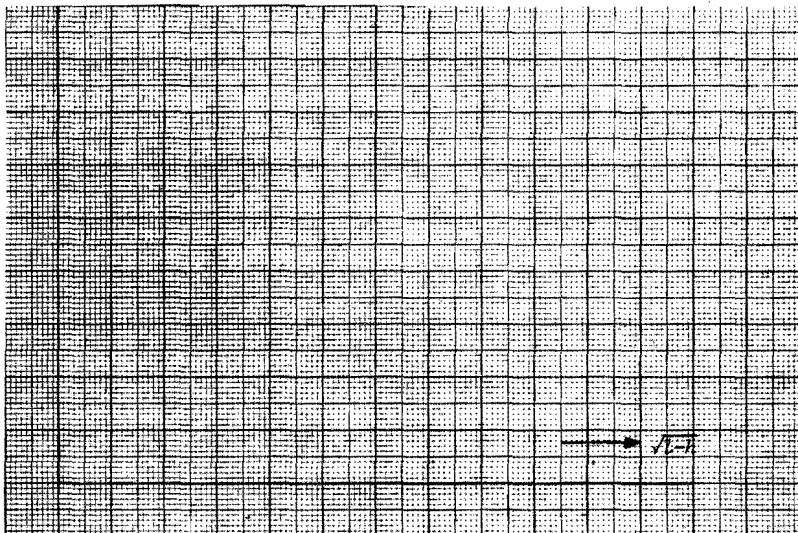
Uitwerking ( gehandicapte slinger)

4. Bereken  $\sqrt{l-h}$  voor de verschillende waarden van  $h$

$$\begin{array}{l} \sqrt{l} = \\ \sqrt{l - 10 \text{ cm}} = \\ \sqrt{l - 20 \text{ cm}} = \\ \sqrt{l - 30 \text{ cm}} = \end{array} \quad \begin{array}{l} \sqrt{l - 40 \text{ cm}} = \\ \sqrt{l - 50 \text{ cm}} = \\ \sqrt{l - 60 \text{ cm}} = \\ \sqrt{l - 70 \text{ cm}} = \end{array}$$

5. Teken hieronder de grafiek van  $T$  als functie van  $\sqrt{l-h}$  ( vgl. opdracht 2).

6. Evenzo  $T'$  als functie van  $\sqrt{l-h}$  ( vgl. opdracht 3).



7. Toon aan dat  $T - \frac{1}{2}T_0 = \pi\sqrt{\frac{l-h}{g}}$

8. Bereken  $T_0$  met de formule  $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$  en vergelijk deze waarde met de waarde van  $T_0$  die uit de grafiek van opdracht 5 volgt.

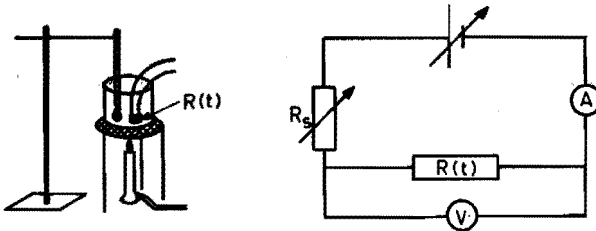
9a. Beredeneer hoe de grafiek van  $T'$  als functie van  $\sqrt{l-h}$  verloopt voor  $h$  tussen 0 cm en 30 cm.

b. Schets dit verloop in bovenstaande grafiek.

TEMPERATUURAFHANKELIJKE WEERSTAND

Doel: onderzoeken hoe de weerstand van een temperatuurafhankelijke weerstand verandert.

Opstelling + schema:



Uitvoering:

1. Maak de schakeling van bovenstaand schema waarin behalve de temperatuurafhankelijke weerstand ook een schuifweerstand  $R_s$  opgenomen is. Laat de schakeling controleren alvorens de spanningsbron aan te sluiten.
2. Vul het bekerglas met warm water ( uit de geysers) en breng het aan de kook. Breng de weerstand  $R(t)$  in het kokende water en regel de spanning zodanig dat 20 mA gaat lopen. Lees de voltmeter af. ( Invullen in de tabel).
3. Koel vervolgens het water in het bekerglas af door te mengen met koud water. Zorg dat de stroomsterkte steeds 20 mA bedraagt en bepaal bij verschillende temperatuur de spanning over  $R(t)$ . Zorg voor een zestal meetpunten tussen ca. 10°C en 100°C. Vul in in onderstaande tabel.

temperatuur (°C)	V ( V )

4. Houdt de weerstand  $R(t)$  in de straal van een föhn, 2 cm voor de opening, stel zodanig in dat  $I = 20$  mA en lees de spanning over  $R(t)$  af.

V = ...



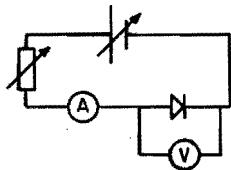
Gehandicapte slinger

1. nauwkeurigheid	2	
2. methode	3	} 9
nauwkeurigheid	2	
goede slingertijd	2	
netheid tabel	2	
3. idem, zie 2.	9	
<u>uitvoering</u>	20 pnt	
4. plaatsing komma	1	} 4
nauwkeurigheid	2	
eenheid ( indiv. rekenfout -1)	1	
5. grootheid vert. as	1	} 5
eenheid vert. as	1	
eenheid hor. as punten, grafiek	2	
6. idem, zie 5.	5	
7.	3	
8. berekenen	2	} 4
grafiek tekenen	2	
9a.	2	} 4
b.	2	
<u>uitwerking</u>	25 pnt	
<u>totaal 45 pnt</u>		
=====		

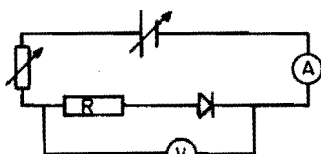
Temperatuurafhankelijke weerstand

1. schakeling maken	5	
2/3 geen ingreep ( goede handelingen)	5	} 12
keuze meetpunten	3	
nauwkeurigheid	2	
netheid tabel	2	
4. nauwkeurigheid	2	} 3
eenheid	1	
<u>uitvoering</u>	20 pnt	
5. eenheid vert. as	1	} 5
eenheid hor. as	1	
punten, grafiek	3	
6a. goede berekening	3	} 6
nauwkeurigheid	1	
netheid tabel	2	
b. eenheid hor. as	1	} 4
eenheid vert. as	1	
punten, grafiek	2	
7.	3	
8.	3	
9.	4	
<u>uitwerking</u>	25 pnt	
<u>totaal 45 pnt</u>		
=====		

Doel: het onderzoeken van de invloed van een diode in een elektrische schakeling.



schakeling I



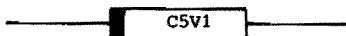
schakeling II

In de schakelingen met regelbare spanning is o.a. een diode opgenomen met symbool . De richting van de pijl geeft de doorlaatrichting van de stroom aan.

Uitvoering:

- 1a. Bouw schakeling I. Het voedingskastje nog niet "AAN" zetten.
- 1b. Laat de schakeling controleren.
- 1c. Onderzoek wanneer de diode stroom "doorlaat" en wanneer hij "spert". Teken het symbool op de juiste wijze onder de figuur.

figuur:



2. Plaats de diode in schakeling I zodanig dat de stroom "gesperd" wordt. Meet de stroomsterkte  $I$  als functie van de spanning  $V$  en vul tabel 1 hiernaast in.

tabel 1.

$V$ (volt)	$I$ (mA)
1,0	
2,0	
3,0	

3. Plaats nu de diode in schakeling I zo dat de stroom "doorgelaten" wordt. Meet opnieuw  $I$  als functie van  $V$  en vul tabel 2 hiernaast in.

tabel 2.

$V$ (volt)	$I$ (mA)
0,25	
0,50	
0,70	
0,75	
0,80	
0,85	
0,90	
0,95	
1,00	

4. Bouw schakeling II ( diode stroom doorlatend). Meet  $I$  als functie van  $V$  en vul tabel 3 hiernaast in.

tabel 3.

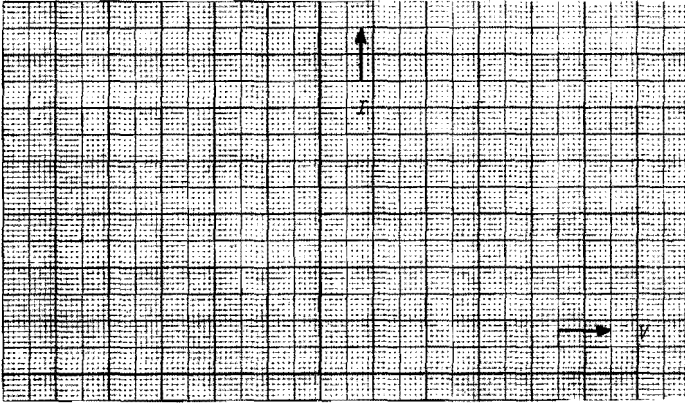
$V$ (volt)	$I$ (mA)
0,5	
1,0	
1,5	
2,0	
3,0	
4,0	
5,0	
6,0	
7,0	



Uitwerking diode

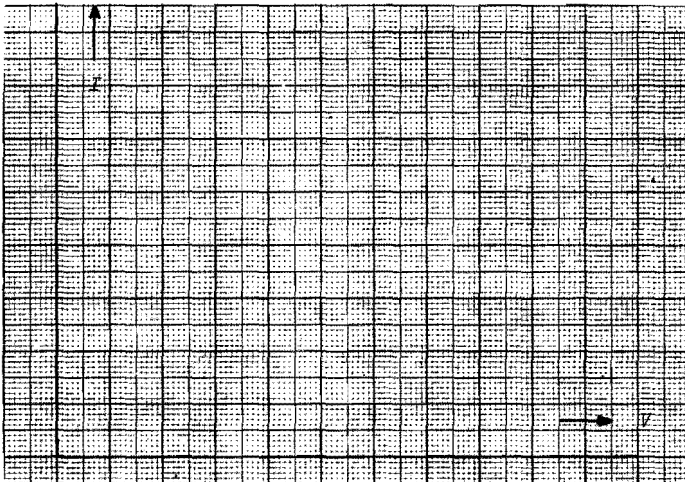
V-8

5. Maak één grafiek van de resultaten verkregen bij opdrachten 2 en 3 (tabellen 1 en 2) voor  $V$  tussen -1 volt en +1 volt.



6. Bereken de weerstand van de diode als de stroom door de diode 200  $\mu$ A is.

7. Maak een grafiek van de resultaten verkregen bij opdracht 4 (tabel 3)



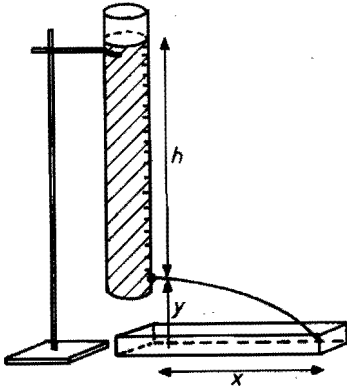
- 8a. Hoe groot is bij een stroom van 200  $\mu$ A de spanning over de weerstand R?

- b. Bereken de weerstand R.

- c. Teken in de grafiek van opdracht 7 ook de stroomsterkte door de weerstand R als functie van de spanning over R.

Doel: onderzoeken met welke snelheid een waterstraal uit een vat spuit.

Opstelling:



Uitvoering:

1. Maak de opstelling zodanig, dat  $y = 16$  cm. Zorg ervoor dat de buis goed vertikaal staat en voorzie de bak van een laagje water.  $y$  is dan de hoogte van het gaatje boven het wateroppervlak in de bak.  
Vul de buis met water, zodanig dat  $h = 60$  cm. Laat het water uit het gaatje aan de onderkant van de buis stromen en meet de afstand  $x$  als functie van  $h$ . Zorg voor 5 à 6 meetpunten. Noteer de waarnemingen in tabel 1.

2. Maak nu  $y = 4$  cm. Begin weer met  $h = 60$  cm en meet de afstand  $x'$  als functie van  $h$ . Zorg weer voor 5 à 6 meetpunten en noteer de metingen in tabel 2.

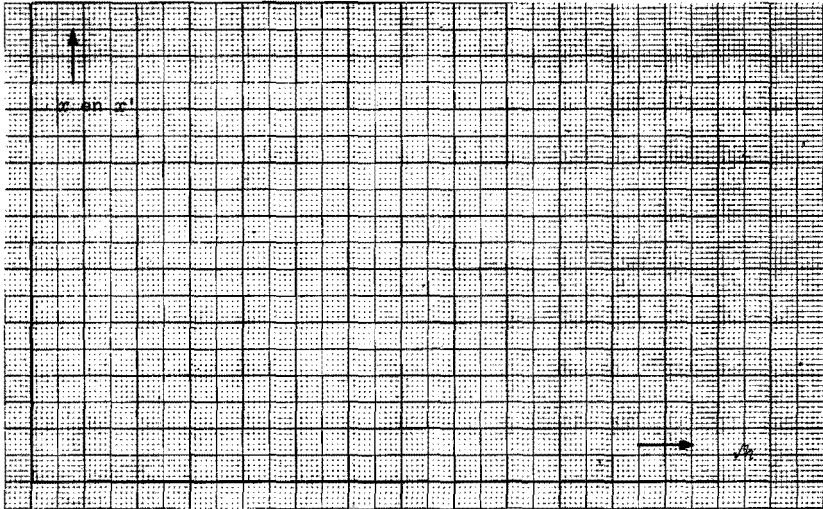
tabel 1.

$h$ (cm)	$\sqrt{h}$ (cm <sup>1/2</sup> )	$x$ (cm)

tabel 2.

$h$ (cm)	$\sqrt{h}$ (cm <sup>1/2</sup> )	$x'$ (cm)

3. Bepaal steeds  $\sqrt{h}$  (in tabellen 1 en 2) en zet in onderstaande grafiek  $x$  en  $x'$  als functie van  $\sqrt{h}$ . Schrijf erbij welke grafiek betrekking heeft op  $x$  resp.  $x'$ .



We bekijken de waterstraal na het verlaten van de uitstroomopening. Je mag de waterstraal opvatten als een groot aantal afzonderlijke waterdeeltjes die na elkaar de uitstroomopening verlaten hebben. Deze deeltjes doorlopen dus een kogelbaan. De tijd die de deeltjes nodig hebben om de bak te bereiken noemen we de valtijd  $t$ .

4a. De waterhoogte  $h$  in de buis heeft geen invloed op de valtijd. Waarom niet?

b. Hoe verhouden de valtijden behorende bij  $y = 16$  cm en  $y = 4$  cm zich?

5a. Kies  $h = 40$  cm. Lees in de grafiek de bijbehorende  $x$  en  $x'$  af.

$$x =$$

$$x' =$$

b. Bereken de valtijd voor het geval  $y = 16$  cm.

c. Bereken voor  $h = 40$  cm de snelheid waarmee het water uit het gaatje stroomt.

6. Hoe groot is de snelheid waarmee het water uit het gaatje stroomt voor  $h = 40$  cm,

a. als we de diameter van het gaatje 2 x zo groot maken? Licht het antwoord toe.

b. als we de diameter van de buis 2 x zo groot kiezen? Licht het antwoord toe.

Diode

- schakelingen ( elke ingreep -4)	12	
1. symbool	2	
2. tabel	2	
3. tabel	2	
4. tabel	<u>2</u>	
		<u>uitvoering</u> 20 pnt
5. eenheid vert. as	1	} 6
eenheid hor. as	1	
schaalkeuze	2	
punten, grafiek	2	
6. berekening	3	
7. idem, zie 5.	6	
8a.	4	} 10
b.	3	
c.	3	
		<u>uitwerking</u> 25 pnt

totaal 45 pnt  
=====

Waterstraalproef

- algemene uitvoering ( elke ingreep -4)	8
1. nauwkeurigh. in tabel 1 keuze meetpunten nethheid in tabel 1	2 } 2 } 6 2 }
2. tabel 2. zie 1.	<u>6</u>
	<u>uitvoering</u> 20 pnt
3. berek. $\sqrt{h}$ eenheid vert. as eenheid hor. as punten, grafiek x punten, grafiek x'	2 } 1 } 1 } 8 2 } 2 }
4a.	2
b.	2
5a. eenheden 2 x aflezing	1 } 2 } 9 3 }
b.	3
c.	3
6a.	2
b.	2
	<u>uitwerking</u> 25 pnt

totaal 45 pnt  
=====

TRALIEKONSTANTE

voor de leerling

V-12/13

Op de tafel zie je een optische rail met daarop een laser.  
Daarnaast liggen: 2 houders, scherm en tralie.

1. Maak een opstelling zodanig dat het interferentiepatroon t.g.v. het tralie op het scherm te zien is.

$$\text{Voor de tralieconstante geldt: } d = \frac{L \cdot \lambda}{\Delta x}$$

2. Bepaal  $L$  en  $\Delta x$

$$L =$$

$$\Delta x =$$

$$\lambda = 6.2 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

3. De leraar tikt de waarden voor  $L, \Delta x$  en  $\lambda$  in de rekenmachine.  
Bepaal  $d$ .

$$d = \quad \text{m}$$

TRALIEKONSTANTE

voor de leraar

Alleen laser blijft op rail. Het overige materiaal ligt naast de rail op tafel, los van elkaar.

- |                                |             |
|--------------------------------|-------------|
| 1. laser aan                   |             |
| volgorde laser, tralie, scherm | 0 1         |
| horizontale uitlijning         | 0 1 2       |
| plaatsing tralie               | 0 1         |
| plaatsing scherm               | 0 1         |
|                                | -----       |
|                                | max. 5 pnt. |
| 2. bepaling $L$                | 0 1         |
| nauwkeurigheid                 | 0 1         |
| eenheid                        | 0 1         |
| bepaling $\Delta x$            | 0 1         |
| nauwkeurigheid (inkl. methode) | 0 1 2       |
| eenheid                        | 0 1         |
|                                | -----       |
|                                | max. 7 pnt. |
| 3. macht van 10 erbij          | 0 1         |
| nauwkeurigheid                 | 0 2         |
|                                | -----       |
|                                | max. 3 pnt. |

totaal 15 pnt.  
=====

direkt na de uitwerking van de twee proeven gedurende de cursus 1981/82.

Vragen

1. Viel dit schoolonderzoek mee of tegen?
2. Hoe denk je dat je dit schoolonderzoek gemaakt hebt?
3. Was je tijdens dit schoolonderzoek zenuwachtiger dan tijdens andere schoolonderzoeken?
4. Wat vond je van de proeven? (leuk of niet leuk)
5. Wat had je liever gehad: Meer proeven en makkelijkere uitwerkingen of minder proeven en moeilijkerere uitwerkingen?
6. Vond je de tekst overzichtelijk?
7. Van welke proef was de uitvoering het moeilijkste?
8. Heb je je bij de uitvoering van de proeven moeten haasten?
9. Vind je dat je te veel of te weinig praktikum hebt gehad in de afgelopen jaren?
10. Van welke proef was de uitwerking het moeilijkste?
11. Had je tijd genoeg voor de uitwerking van de proeven?
12. Hoe vond je de korte proef? (gemakkelijk of moeilijk)

# **STELLINGEN**

behorend bij het proefschrift van

**G. Verkerk**

**Eindhoven, 22 maart 1983**

1. De invoering van het natuurkundepraktikum in de bovenbouw zou nooit zo snel en op zo grote schaal gerealiseerd zijn zonder de ministeriële beschikking (AVO/J 612.931) waarin gesteld wordt dat het leerlingenpraktikum in de nieuwe regeling een verplicht onderdeel van het schoolonderzoek vormt.

hoofdstuk 1 van dit proefschrift

2. Ondanks de grote overeenkomst tussen de cijfers voor het schoolonderzoek en voor het centraal schriftelijk examen en ondanks de grotere validiteit en betrouwbaarheid van de schoolonderzoekcijfers moet het centraal schriftelijk examen voor natuurkunde gehandhaafd blijven.

hoofdstuk 12 van dit proefschrift

3. Leraren natuurkunde dienen één taakuur te krijgen op elke vier lesuren aan bovenbouwklassen om werkzaamheden te kunnen verrichten die nodig zijn om het praktikum in de bovenbouw en het praktikum schoolonderzoek goed te laten functioneren.

hoofdstuk 1 van dit proefschrift

4. Het is mogelijk leraren meer dan tot nu toe te laten participeren in vakdidactisch of algemeen didactisch onderzoek dat plaatsvindt binnen de universitaire lerarenopleiding.

hoofdstuk 2 van dit proefschrift

5. De vuurmeter van Petrus van Musschenbroek is geen pyrometer (en zelfs geen dilatometer).

C. de Pater, dissertatie, Utrecht 1979

6. De suggestie van Auer om het vak natuurwetenschap (science) in te voeren in die fasen van het onderwijsproces waarin 'belangstelling kweken voor en inzicht in het natuurgebeuren' een belangrijk onderwijsdoel is, heeft tot op heden in het gevoerde Nederlandse onderwijsbeleid te weinig aandacht gekregen.

Auer, dissertatie, Amsterdam 1966

7. Wanneer Cals in 1954 stelt, dat hij als taak van de school ziet 'de geestelijke, lichamelijke en sociale ontplooiing van de leerlingen ten behoeve van de voorbereiding op hun toekomstige functie in



de samenleving en met het oog op een vloeiende overgang van de school naar het beroep', dan geeft hij daarmee niet alleen een voorzet voor de invoering van een overigens tot op heden geïsoleerd en daardoor te weinig gewaardeerd vak maatschappijleer maar ook voor bijdragen aan de vorming tot staatsburger in alle vakken die zich hiervoor lenen.

Aandacht voor de samenlevingsaspecten in een vak als natuurkunde is mogelijk en dus noodzakelijk.

*Het onderwijs in Nederland, Verslag over het jaar 1954,  
Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage 1955*

8. Het is in een tijd dat de opleiding tot onderwijsgevende algemene erkenning krijgt onverteerbaar dat nog steeds onderwijsbevoegdheden verstrekt worden 'ten genoegen van de Minister'.

*bijlage Overgangswet Voortgezet Onderwijs*

9. De door de Minister van Onderwijs en Wetenschappen voorgestelde salaris- en bevoegdhedenstructuur in het voortgezet onderwijs zal een nadelige uitwerking hebben op de werkgelegenheid van academisch opgeleide leraren, de kwaliteit van het onderwijs, de universitaire lerarenopleidingen enz.

*Herziening Onderwijs Salarisstructuur 1982*

10. Na *Wetswijzigingsvoorstel 16112* (zitting 1979/1980) dat eind 1980 door de Tweede Kamer is aangenomen, waarin nascholing gezien wordt als een continue activiteit en onderdeel van de taak van elke onderwijsgevende en na de inpassing van de nascholing voor eerstegraadsleraren in de 'Regeling van het Postacademisch Onderwijs', is de organisatie van de nascholingsactiviteiten zo omvangrijk geworden dat de nascholing voor eerstegraadsleraren natuurkunde in het gedrang is gekomen.
11. Het is voor leerlingen in de onderbouw van het AVO misleidend dat de grootheid weerstand gedefinieerd wordt als de *konstante* verhouding van spanning en stroomsterkte (volgens de wet van Ohm).
12. Omdat het van buiten leren van feitelijke gegevens binnen het onderwijs in de natuurwetenschappen geen doel op zich dient te zijn, is het noodzakelijk dat leerlingen bij examens in deze vak-

ken een tabellenboekje (BINAS) beschikbaar hebben waarin een zo volledig mogelijk overzicht van formules voor die vakken opgenomen is.

Faraday 43, 165 (1974)

13. Het feit dat de komputer bij door de komputer gestuurde fysische experimenten vaak zo fascinerend werkt dat de aandacht van de fysika wordt afgeleid, mag niet betekenen dat het komputergebruik bij het natuurkundepraktikum vermeden wordt.
14. Vanwege het sociale karakter van de denksport bridge is het wenselijk dat jongeren van 15 à 16 jaar op school in de gelegenheid worden gesteld kennis te maken met deze denksport. Na een korte kennismakingsperiode moeten zij zich naar eigen keuze spelenderwijs kunnen ontwikkelen in het bridgespel dat jong en oud samenbrengt.