

Ontwikkelen van een strategie voor onderwijsassistenten om goede begeleiding te geven op het universitaire natuurkundepacticum

J. Buning en G. Thijs
Vrije Universiteit, Faculteit Exacte Wetenschappen
Divisie Natuurkunde en Sterrenkunde

Summary

In the undergraduate physics laboratory major students learn how to carry out experimental research and are prepared for their master research work. Despite the stable character of the undergraduate student-lab, there have been some changes as result of educational research. In the undergraduate open-ended practicals the role of the teaching assistants is crucial. They are guiding a process and their role in giving proper feedback at the proper time is crucial. However there is little known about the best way how to teach students in the labs where they learn how to do research. Some questions that arise are: What are the characteristics of good research? What are the difficulties students have in doing research? Is there a strategy available to give proper feedback at the proper time?

The paper describes developmental research aimed at developing a strategy for teaching assistants to provide proper feedback. The central activity in this strategy is to help students to relate two domains: the domain of theoretical concepts and the domain of experimental procedures. The research is in the stage of applying the strategy and determining its effectiveness.

1. Inleiding

De laatste jaren komt er meer belangstelling voor de didactiek van onderzoek doen. Zo is de vorige aflevering van dit tijdschrift speciaal gewijd aan het thema: Leren onderzoeken en ontwerpen. Het blijkt dat het onderzoek op dit gebied nog in een explorerende fase is. Dit artikel gaat in op de didactiek van onderzoek doen op universitair niveau. Ontwikkelingen zijn op gang gekomen in het voortgezet onderwijs en het hoger onderwijs omdat het nodig is om deze twee onderwijsniveaus beter op elkaar aan te laten sluiten. Een voortvloeisel daaruit is de grotere aandacht in het voortgezet onderwijs voor het doen van onderzoek in de beta-vakken. Het EXO (eigen experimenteel onderzoek door leerlingen) is daar een voorbeeld van (van Haren, 1993). Intussen is het studiehuis ingevoerd. In de eindtermen van dit nieuwe programma staan onderdelen over het kunnen uitvoeren van een onderzoek (Stuurgroep Profiel Tweede fase VO, 1995). Men zou verwachten dat de kennis over de wijze van onderzoek leren en onderwijzen beschikbaar zou zijn op de universiteiten. Een doelstelling van de universitaire practica is immers studenten leren hoe zij experimenteel onderzoek kunnen uitvoeren en in experimenteel werk kennis kunnen verifiëren en genereren. De vraag is of studenten dit ook werkelijk doen. Uit internationale literatuur blijkt (Laws, 1996) dat wat dit betreft de situatie op de 'undergraduate labs' niet rooskleurig is. Er zijn flink wat tekortkomingen zoals: (1) practica zijn vaak gesloten en voorspelbaar (kookboek);

(2) er worden in het algemeen te veel doelen tegelijk nagestreefd; (3) de begeleiders op de practica worden meestal niet getraind hoe deze practica te begeleiden.

Het (practicum) onderwijs op tertiair niveau blijkt nogal conservatief te zijn. Hegarty-Hazel (1990) constateerde de 'astonishingly stable nature of practical exercises'. Vijf jaar later gaven Meester en Maskill (1995) aan: 'University teachers concentrate on the experiment to be performed by the students and on the time available, rather than on the educationally best way to achieve their teaching aims'. De laatste jaren komt daar wel enige verandering in. In Nederland zijn een aantal proefschriften verschenen over het universitaire practicum onderwijs, met name het chemiepracticum. Kirschner (1991) is zeer kritisch over de rol van het practicum. Hij constateert dat practica, die gegeven worden met kookboek instructies, de doelen die zij pretenderen na te streven (zoals probleem oplossen, toepassen van kennis in nieuwe situaties, het testen van hypothesen) niet bereiken. Hij pleit daarom ook voor een veel bescheidener rol voor het practicumonderwijs. De proefschriften over het chemie practicum (de Jager, 1985; Goedhart, 1990, Elzenga, 1991; van Keulen, 1995) richten zich vooral op de practicum instructies en de rol van de student. Goedhart en Van Keulen ontwikkelen daarbij alternatieve aanpakken voor kookboek-practica waarbij zij een centrale rol geven aan het 'gesprek' tussen studenten en docenten. Zij volgen daarbij Ten Voorde (1977) die onderwijzen opvat als een gezamenlijke meningsvorming. Van Keulen constateert dezelfde gebreken bij universitaire practica als Kirschner maar neemt afstand van diens conclusies en ziet juist bij uitstek een rol weggelegd voor practica om onderzoeksvaardigheden te leren.

De natuurkunde practica aan de Vrije Universiteit hebben al een lange traditie om de drie tekortkomingen die Laws noemt te boven te komen. De experimenten zijn open van karakter, er is een geleidelijke opbouw, en de assistenten worden getraind. Toch was de situatie nog steeds niet bevredigend. Studenten bleken nog te weinig vorderingen te maken in het verwerven van de nodige onderzoeksvaardigheden, en met name de onderwijsassistenten (OA, ouderejaars studenten, en AIO's) ontbrak het aan een instrument om efficiënt en effectief te begeleiden. Er was weliswaar een duidelijke begeleidingsstructuur met een drietal besprekingen tussen de assistent en de studenten gedurende elk uit te voeren experiment. Maar deze bood nog te weinig houvast voor de assistenten om de studenten de juiste feedback te geven en de nodige onderzoeksvaardigheden aan te leren. Bovendien begeleiden de assistenten slechts gedurende een periode van twee of hooguit drie jaar. Dat betekent een voortdurende instroom van nieuwe assistenten, die steeds weer opnieuw opgeleid moeten worden. Er is daarom behoefte aan een didactiek, waarmee nieuwe assistenten effectief en efficiënt opgeleid kunnen worden. De hoofdvraag van het onderzoek is:

Welke strategie is te ontwikkelen voor onderwijsassistenten op het universitaire natuurkundepracticum die hen in staat stelt om efficiënt en effectief feedback te geven aan studenten?

Het hier beschreven onderzoek is halverwege en de nadruk in dit artikel ligt daarom op vragen die aan de hoofdvraag voorafgaan: wat is karakteristiek

voor het doen van onderzoek en welke moeilijkheden hebben studenten daarbij.

De opzet van dit artikel is als volgt:

In paragraaf 2 wordt de context van het onderzoek besproken en wordt een kort overzicht gegeven van de opbouw van de practicumcursussen en de wijze van begeleiden. In paragraaf 3 wordt nagegaan welke aanwijzingen te vinden zijn in de literatuur die van belang zijn voor het uitwerken van de hoofdvraag. Achtereenvolgens wordt ingegaan op de rol van de inhoudelijke kennis bij het doen van onderzoek, de relatie met probleemoplossen, de rol van communicatie, en de rol van de docent. In paragraaf 4 komt de onderzoeksmethode aan de orde, gevolgd door een paragraaf met bevindingen over de eerste fase van het onderzoek. In paragraaf 5 wordt het model van onderzoek doen en de strategie zoals door ons ontwikkeld besproken. Hierna volgen de voorlopige bevindingen met het inzetten van de strategie. Tenslotte volgt een paragraaf met discussie en conclusies.

2. De context

Op de Vrije Universiteit Amsterdam worden hoofdvak studenten natuurkunde in drie jaar met acht practicumcursussen voorbereid op hun afstudeerstage. Het overzicht van deze cursussen staat in tabel 1.

Aard van de verschillende cursussen. De cursussen 1 en 6-8 hebben als doel studenten onderzoeksvaardigheden te doen leren. Cursus 2 valt halverwege cursus 1 en heeft als doel het mondeling en schriftelijk verslaggeven apart te trainen. Studenten bespreken weliswaar in cursus 1 van ieder experiment een werkplan en schrijven een verslag, maar deze vaardigheden vereisen een aparte en gerichte training. De cursussen 3-5 richten zich op het leren van specifieke vaardigheden en niet op het leren onderzoeken. De cursussen 1 en 6 beginnen met een aantal korte gesloten oefeningen om specifieke apparatuur te leren bedienen of een eenvoudig softwarepakket te leren gebruiken. De cursussen 7 en 8 betreffen geavanceerde experimenten en sluiten nauw aan bij het onderzoek in de vakgroepen. Studenten zetten daar veelal het onderzoek van vorige studenten voort.

Begeleiding. De cursussen 1-3 worden gevolgd door ca 25 studenten. De cursussen 6-8 worden gevolgd door ca 18 studenten. De begeleiders (OA's) zijn ouderejaars studenten of AIO's. De verhouding studenten/OA varieert van : 8:1 (cursus 1,2), 10:1 (cursus 3,5) tot 6:1 (cursus 6). In de cursussen 1, 5 en 6 zijn de OA's de gehele tijd aanwezig in de practicumzaal. De cursussen 7 en 8 worden meer op afstand begeleid, ieder experiment door zijn eigen begeleider.

Wijze van beoordelen. In cursus 1 worden de studenten formeel beoordeeld in een daarvoor apart ontworpen testexperiment na afloop van de cursus. In cursus 6 worden de laatste twee van de vijf experimenten formeel beoordeeld. In de cursussen 7 en 8 wordt elk experiment formeel beoordeeld.

De OA's krijgen een training van een week voorafgaand aan de cursus en worden gedurende de cursus gecoacht. De feedback die OA's geven komt vooral aan de orde in een aantal formele besprekingen.

Cursus no. / type	Jaar	Belangrijkste vaardigheid	Omvang
1. onderzoekspracticum	1	- vergelijken van exp. methoden - vertalen van het probleem in meetbare grootheden (het probleem is gegeven)	5 exp x 20 u
2. academische vaardigheden		- verslag schrijven, presentatie houden over experiment	40 u
3 experiment automatisering		- technische vaardigheid	40 u
4 data-analyse	2	- analyseren van gegevens	30 u
5 elektronica (geïntegreerd in college)		- ontwerpen	90 u
6. onderzoekspracticum		- formuleren van het exp. probleem	5 x 24 u
7. onderzoekspracticum	3	- alle onderzoeksvaardigheden	2 x 60 u
8. onderzoekspracticum		- alle onderzoeksvaardigheden	1 x 160 u

↓
Begeleiding meer en meer op afstand

Tabel 1: Overzicht practicum cursussen Vrije Universiteit.

1- *Oriënterende gesprekken.* Korte gesprekken tussen de OA en de studenten in de beginfase van het experiment. Hierin neemt de assistent het initiatief in het stellen van verhelderende vragen, en geeft korte opdrachten. Doel is studenten te helpen bij het mobiliseren van de nodige kennis en de probleemstelling helder te krijgen

2- *Werkplanbespreking.* Halverwege het experiment moeten de studenten de assistent in een werkplan overtuigen hoe zij het experiment definitief uit willen voeren. Hierin nemen de studenten het initiatief.

3- *Verslagbespreking.* Een gezamenlijke evaluatie van het hele experiment, waarin ook aandacht is voor de vraag aan de studenten: Wat was de kwaliteit van je handelen en wat voor consequenties trek je uit je ervaringen voor het uitvoeren van het volgende experiment?

Het hier beschreven onderzoek richt zich op de cursussen 1 en 6. In deze cursussen wordt studenten geleerd hoe een onderzoek uit te voeren. Zij hebben daar nog intensieve begeleiding nodig. Om het discussiëren en argumenteren over de uitgevoerde onderzoeksactiviteiten te stimuleren werken de studenten in koppels. De instructie is kort en bevat slechts één zin waarin het te onderzoeken probleem wordt aangegeven. Verder is er achtergrond informatie over de theorie en de te gebruiken apparatuur aanwezig. In cursus 1 betreft dit bekende theorie uit het voortgezet onderwijs.

3. Theorie

Het doen van natuurkundig experimenteel onderzoek is erop gericht om de bestaande kennis over natuurkunde uit te breiden en te valideren. Het doen van experimenteel onderzoek wordt dan ook gekenmerkt door het toepassen van kennis in nieuwe en vaak onverwachte situaties. Een wendbaar gebruik van kennis is dan ook nodig. Juist dit toepassen van kennis in nieuwe situaties, waarin ook nog allerhande experimentele problemen opgelost moeten

worden is voor studenten moeilijk. Deze activiteiten doen namelijk een beroep op cognitieve vaardigheden uit de top van de taxonomie van Bloom (Gott & Duggan, 1995). Bij het doen van experimenteel onderzoek wordt niet alleen kennis over de theoretische begrippen ingezet, maar ook kennis over de gehanteerde experimentele procedures.

Millar et. al. (1995) onderscheiden daarom ook twee typen kennis die het onderzoeksgedrag van leerlingen bepalen (hun onderzoek richt zich vooral op het voortgezet onderwijs): procedurele kennis en conceptuele kennis. Procedurele kennis is daarbij die kennis die nodig is om een natuurwetenschappelijk onderzoek uit te kunnen voeren. Het omvat daarom zowel handvaardigheden als het begrijpen van 'het hoe en waarom' van natuurwetenschappelijk onderzoek en de aard van de bewijsvoering. Uit het werk van Millar, blijkt dat leerlingen eerst en vooral onderzoeksvaardigheden moeten ontwikkelen op het gebied van procedurele kennis (eerlijk meten, controleren van variabelen, de kwaliteit kunnen beoordelen van een werkplan) en nog nauwelijks eraan toekomen om de relatie tussen theorie en experimentele situaties te leggen. De auteurs geven weliswaar aan dat procedureel begrip op kennis is gebaseerd, maar hun werk richt zich vooral op de procedurele kant.

De verwachting is dat bij onderzoekspractica op universitair niveau de rol van de 'conceptual knowledge and understanding' een veel grotere rol speelt. Experimenteel onderzoek is er namelijk op gericht om de theorievorming over natuurkundige verschijnselen verder te brengen. Op de onderzoekspractica leren de studenten de methode van het doen van experimenteel onderzoek. Daarnaast zijn deze practica complexer in vergelijking met de practica in het voortgezet onderwijs. Het is daarom te verwachten dat er een grotere rol is weg gelegd voor conceptueel begrip en er een sterkere wisselwerking zal zijn tussen procedurele en conceptuele kennis.

Reif (1995) heeft suggesties gedaan voor een didactische aanpak voor het hoger natuurkunde onderwijs, waarbij studenten ondersteund worden om een basale hoeveelheid kennis te verwerven die zij op een flexibele manier kunnen inzetten. Deze benadering is gebaseerd op drie basale activiteiten: het op juiste wijze *interpreteren* van natuurwetenschappelijke begrippen, het effectief *beschrijven* van kennis, en deze kennis effectief *organiseren*. Het goed beheersen van deze drie activiteiten is een voorwaarde voor probleemoplossen. Reif bepleit het expliciet gebruik van deze drie activiteiten door zowel de student als de docent. Hierbij is op te merken dat het doen van onderzoek is op te vatten als een vorm van *probleemoplossen*, waarbij de context nog opener is door de experimentele dimensie en er nog een groter beroep wordt gedaan op wendbaarheid in het toepassen van kennis. Ferguson en de Jong (1993) benadrukken, in overeenstemming met Reif, het belang dat studenten bij het probleemoplossen ondersteund worden in het aanbrengen van betekenisvolle structuur in de gebruikte informatie. Zij stellen dat succesvol probleemoplossen gebaseerd is op een goed gestructureerde kennisbasis. Van Streun (1994) spreekt in dit verband over een oriënteringsbasis. Voor het probleemoplossen (binnen de wiskunde) is het nodig dat leerlingen de kenmerkende wiskunde componenten herkennen in verschillende probleemsituaties, zodat zij wendbaar worden in het toepassen van kennis. Hij pleit ervoor om in het probleemgericht onderwijs de fundamentele overeenkomsten in verschillende contexten en probleemsituaties te benadrukken.

In de hier bovengenoemde onderwijsbenaderingen gaat men er vanuit dat de betekenis van de te onderwijzen begrippen door de leerling zelf worden geconstrueerd en niet zonder meer kunnen worden overgedragen van de docent op de leerling. Deze theorieën vat men samen onder de noemer constructivisme. Lijnse (1995) wijst op een dilemma dat in veel van deze constructivistische theorieën voorkomt: aan de ene kant moeten de leerlingen de begrippen zelf construeren, maar aan de andere kant wordt hun voorgeschreven wat ze behoren te construeren (en worden de ideeën die ze reeds hebben als fout bestempeld). Hij pleit voor een benadering waarbij de student/leerling meer de vrijheid krijgt om zijn leefwereld, wat hij noemt, te 'vernatuurwetenschappelijkken'. Om nieuw onderwijs te ontwikkelen is het nodig om vooral aandacht te geven aan interactieve situaties tussen student en docent. Leren is namelijk een 'productief communicatie proces'. Dit heeft consequenties voor de rol van de docent. Lijnse wijst erop dat niet alleen het leren van de student zelf, maar ook het leren van de onderwijsgevende onderwerp van onderzoek moet zijn. Dit uitgangspunt geeft het belang aan van communicatie in het proces van leren en onderwijzen, immers niet allen de student leert van de OA, maar de OA ook van de student.

Je zou het zo kunnen stellen: onderwijs is argumenteren over betekenis. Volgens Reif is het probleem bij het leren van nieuwe begrippen niet zozeer dat studenten verkeerde ideeën hebben, maar dat zij onvoldoende in de gelegenheid worden gesteld om hun ideeën te articuleren, expliciet te maken en toe te passen. In het doen van onderzoek gaat het juist om het toepassen van kennis in nieuwe situaties. In de gesprekken van de studenten met de OA's wordt geargumenteed over de betekenis van de begrippen in hun experimentele context. Het is dan zaak dat studenten hun argumentatie aan kwaliteit laten winnen. De OA's zijn als het ware gesprekleider die de kwaliteit van het argumenteren aan de orde stellen. Ten Voorde (1977) onderscheidt drie oplopende niveaus van argumenteren: intuïtief, beschrijvend en theoretisch. Het theoretisch niveau is hierbij het niveau waarop de begrippen in hun onderlinge verband kunnen worden verklaard in een consistent model. In de literatuur wordt regelmatig het probleem gesignaleerd dat studenten het verband niet kunnen leggen tussen theorie en praktijk (Goedhart, 1990; van Keulen, 1990; Niedderer, 1997). Ryder en Leach (1999) tonen aan dat de studenten in de exacte vakken nog tot in hun experimentele afstudeerstage toe een onvolledig beeld hebben van wat het experimentele karakter van de natuurwetenschap inhoudt. Zij pleiten daarom om veel meer aandacht te geven in het curriculum aan wat zij noemen de 'epistemic demand', wat betekent dat er meer een beroep gedaan moet worden op de relatie die er bestaat tussen kennis en experimentele data. Als studenten verbanden kunnen leggen tussen de theoretische begrippen en de experimentele resultaten en die kunnen bespreken in termen van validiteit en betrouwbaarheid, dan hebben zij daar het hoogste theoretische niveau van argumenteren voor nodig. Het is dan ook te verwachten dat studenten die kwaliteit van argumenteren niet zonder inspanning van henzelf en de onderwijsgevende kunnen bereiken.

Het onderzoek door Van Keulen gaat specifiek in op de rol van de communicatie en met name het argumenteren. Hij onderzoekt de relatie tussen het leren en onderwijzen op een scheikundig universitair practicum uit het eerste jaar. Hij beschrijft hoe een kookboekpracticum, waar studenten niet de relatie tussen de theorie en de praktijk konden leggen, veranderd kan worden.

In het aangepaste practicum treedt een integratie op van het 'begrijpen' van de feiten en het begrijpen van de technieken. De studenten kunnen zo hun kennis en vaardigheden toepassen in onderzoek. Van Keulen constateert dat door studenten een cyclisch proces te laten doorlopen van experimenteren, interpreteren en begrijpen, waarbij zij hun resultaten moesten bediscussiëren, zij wel in staat zijn hun kennis toe te passen in een experimentele context. In zijn onderzoek heeft hij niet de rol van de docent betrokken, al constateert hij wel de noodzaak dat docenten reflecteren op hun eigen begeleiden en dat beginnende docenten dit nog niet doen. Zijn onderzoek vertoont overeenkomsten met dit onderzoek. Er zijn echter ook verschillen. De natuurkunde practica op de Vrije Universiteit hebben een lange traditie van open experimenten met grote aandacht voor besprekingen tussen studenten en OA's. Ons onderzoek richt zich met name op de rol van de docent (de OA), en wel op de vraag of en hoe de OA zich een strategie van begeleiden eigen kan maken.

Lock (1990) geeft aan hoe de stijl van onderwijzen en het karakter van het practicum met elkaar verbonden zijn. Lock definieert twee dimensies voor onderzoekspractica: één dimensie betreffende het karakter van de instructie (van gesloten naar open-einde practica), en een tweede dimensie voor de rol van de docent (van docent-gestuurd naar student-bepaald). Met deze twee dimensies is een matrix samen te stellen die behulpzaam is om het practicumonderwijs te karakteriseren in termen van de mate van docent-gestuurd-zijn als functie van de openheid van de practicuminstructies. Een doel van het practicumonderwijs is studenten meer onafhankelijk te maken in het doen van onderzoek. De vraag is dan: hoe en wanneer kiezen we voor meer open-einde opdrachten, en wanneer wordt het practicum meer student-bepaald? Lock geeft een vijftal stappen aan om practicum meer student-bepaald en open-einde te maken. Deze stappen worden gekarakteriseerd door de volgende vragen:

- | | |
|---|---|
| A | Wie bepaalt het interesse gebied? |
| B | Wie formuleert het probleem? |
| C | Wie plant de activiteiten? |
| D | Wie beslist over de te gebruiken strategie? |
| E | Wie interpreteert de resultaten? |

Lock beweert dat deze stappen hiërarchisch van aard zijn, waarbij de hiërarchische volgorde is: $C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow B \rightarrow A$. Volgens Lock zal in practica met als doel 'leren onderzoeken' de docent niet alle gebieden hoeven te bepalen. Dit hangt af van welke specifieke vaardigheid in een betreffende situatie aangeleerd wordt. De mate van sturen door de OA in onderzoekspractica kan dus per situatie verschillen. Globaal is er in de practicumcursussen uit tabel 1 wel een ontwikkeling aan te geven. In cursus 1 worden de stappen C, D en E door de student bepaald, in de cursussen 6, 7 en 8 wordt ook B door de student bepaald. Voor deelproblemen die zich in het onderzoek voordoen zal dit echter per situatie verschillen. De OA zal hier zijn positie in moeten kiezen.

4. Onderzoeksmethode

Type onderzoek en onderzoeksofzet

Dit onderzoek is een ontwikkelingsonderzoek van het type *Formatief Onderzoek* (van den Akker, 1999). Bij formatief onderzoek ligt de nadruk op 'het

optimaliseren van de kwaliteit van de interventie en het toetsen van ontwerp principes'. De interventie is in dit geval de begeleiding door OA's volgens een te ontwerpen strategie. Het is de bedoeling om die strategie te ontwikkelen waarmee de kwaliteit van het onderwijs verbetert. Ontwikkelingsonderzoek is een cyclisch proces van theoretische reflectie, analyse, ontwerpen van onderwijs, onderzoeken van effecten van het nieuwe onderwijs, evalueren en aanpassen. De cyclus die dit onderzoek doorloopt wordt gekenmerkt door de volgende stappen:

- 1- Antwoord vinden op drie vragen die aan de hoofdvraag vooraf gaan:
 - a) Wat zijn de karakteristieken van *goed* onderzoek?
 - b) Welke moeilijkheden hebben studenten bij het uitvoeren van kwalitatief goed onderzoek?
 - c) Welke problemen hebben de OA's bij het begeleiden van de studenten?
- 2- Het ontwikkelen van een prototype voor een strategie om geschikte feedback te geven.
- 3- Het toepassen van deze strategie bij het trainen en coachen van de OA's.
- 4- Evaluatie van de effectiviteit van de strategie.
- 5- Aanpassing van de strategie.
- 6- Toepassen van de aangepaste strategie,
- 7- ...enz

Het praktische doel is een handleiding en cursus te ontwikkelen voor het trainen en coachen van OA's die *practica* begeleiden waar studenten leren experimenteel onderzoek uit te voeren.

Tijdens de eerste fase van het onderzoek (september 1997 tot september 1999) zijn de eerste vier stappen van de cyclus doorlopen. De komende fase van het onderzoek richt zich op het onderzoeken van de *bruikbaarheid* van de ontwikkelde strategie. Bruikbaarheid is hierbij ruim gedefinieerd en omsluit effectiviteit en efficiëntie. *De strategie is bruikbaar indien:*

- de OA's hun begeleidingsgedrag kunnen onderbouwen en de kwaliteit en vorderingen van het onderzoeksgedrag van de studenten vast kunnen stellen (*efficiëntie*);
- de studenten vorderingen maken in het onderbouwen van hun onderzoeksgedrag. Dit blijkt uit de kwaliteit van hoe zij de nodige kennis mobiliseren en de relatie weten te leggen tussen de theoretische begrippen en de experimentele context (*effectiviteit*).

Sleutelactiviteit in ontwikkelingsonderzoek is formatieve evaluatie, omdat dit informatie oplevert die het cyclisch proces van ontwerpen en ontwikkelen voedt. Om gegevens te verkrijgen die deze bruikbaarheid aantonen, wordt de coaching van de OA's en de wijze waarop zij begeleiden grondig gedocumenteerd.

Onderzoeksinstrumenten en data-analyse

In de beginfase van het onderzoek (stap 1 en 2) zijn de volgende onderzoeksinstrumenten gebruikt om inzicht in de problemen van studenten bij het doen van onderzoek en van OA's bij het begeleiden te verkrijgen. Studenten (n=10) zowel als OA's (n=5) hielden een logboek bij van de 5 experimenten,

waarin zij een problematische gebeurtenis beschreven die het uitvoeren van het experiment resp. het begeleiden belemmerde. Zij gaven daarbij ook aan hoe zij dit probleem hadden geprobeerd op te lossen. Deze logboeknotities zijn individueel besproken met de onderzoeker, waarbij is ingegaan op hoe de studenten het onderzoek hebben aangepakt.

Na afloop van elke cursus is de studenten een vragenlijst voorgelegd waarin hen gevraagd werd naar waardering van de practicumcursus, de begeleiding, wat zij geleerd hebben en een aantal vragen over wat zij kenmerkend vinden voor onderzoek doen. Vijf studenten uit cursus 6 zijn gedurende de cursus over de eerste vier experimenten geïnterviewd over dezelfde punten uit de vragenlijst om zo hun vorderingen te kunnen volgen.

Daarna (stap 3 en 4) zijn in cursus 1 (25 studenten en 3 OA's, waarvan 2 onervaren) en cursus 6 (17 studenten en 3 OA's waarvan 1 onervaren) het model en de strategie (zie paragraaf 6) bij de OA's geïntroduceerd aan de hand van een paar werkvoorbeelden. In wekelijkse bijeenkomsten van een halfuur werd met de OA's de begeleiding besproken aan de hand van enkele begeleidingssituaties van de voorgaande week. Alle werkplanbesprekingen zijn op audiotape opgenomen, 16 daarvan zijn uitgeschreven, geanalyseerd op hoe de OA's feedback geven aan de studenten en hen uitnodigen hun eigen onderzoeksgedrag te verantwoorden. De uitkomsten hiervan zijn vervolgens besproken met de betreffende OA.

Aangezien in deze fase bleek dat OA's geen oriënteringsbasis uit zichzelf opbouwden, heeft de onderzoeker op basis van interviews en observaties 24 situaties uit verschillende experimenten zelf beschreven en als coachingsinstrument gebruikt. Na afloop van de cursussen is de OA's een vragenlijst voorgelegd over de relevantie van de strategie, het omgaan met de drie niveaus van begeleiden, het opbouwen van de oriënteringsbases, en de relevante onderzoeksvaardigheden.

5. Bevindingen uit eerste fase van het onderzoek

5.1. Karakteristieken van onderzoek doen

Relateren van theorie en praktijk

Studenten (2 maal uit cursus 1 en 2 maal uit cursus 6, in totaal 68 studenten waarvan 50 respondenten) en stafleden (37 respondenten uit zowel vast als tijdelijk personeel) hebben een vragenlijst beantwoord waarin 10 items zijn opgenomen uit de lijst van Boud (1989) over wat belangrijke doelen zijn voor practicumonderwijs. De oorspronkelijke lijst van Boud bevat 22 items, waaruit een selectie is gemaakt van items die in het onderzoek van Boud als meest belangrijk worden genoemd. Deze lijst is vaker in de literatuur gebruikt (o.a. Niedderer, 1997). De geënquêteerden moesten hierbij aangeven welke vier vaardigheden zij het belangrijkste vonden. Naast de doelen zoals in de tabel 2 genoemd, ging het om doelen als plannen van activiteiten, samenwerken, goed kunnen observeren en geïnteresseerd zijn in het onderwerp. De belangrijkste uitkomsten zijn weergegeven in tabel 2

Het blijkt dat het relateren van theorie en praktijk (zowel item 1 als 2 hebben hierop betrekking) als belangrijke activiteiten worden gezien, door zowel studenten als stafleden. Dit komt overeen met de resultaten van Niedderer. Uit de logboeken van studenten en OA's blijkt dat studenten met dit aspect van onderzoek doen juist veel problemen hebben. Blijkbaar is dit een cruciaal element van onderzoek doen dat aandacht verdient.

Vaardigheid	Rangnr. studenten (n=68)	Rangnr. stafleden (n=37)
1. In staat zijn experimentele resultaten te interpreteren en te analyseren.	1	1
2. Theorie kunnen relateren aan geobserveerde verschijnselen.	2	n.v.t. #
3. Het kunnen bedienen van apparatuur/beheersen van meettechnieken.	3	4
4. Kritisch bewustzijn.	4	2

Tabel 2: De vier belangrijkste vaardigheden om onderzoek te doen.

Dit item komt niet op de lijst van Boud voor en is later wel toegevoegd aan de lijst die de studenten is voorgelegd.

Onderzoekshouding

Uit de antwoorden op de vragenlijst en uit de interviews met OA's en stafleden blijkt het belang van een goede onderzoekshouding voor het doen van onderzoek. Componenten van een goede onderzoekshouding zijn: creativiteit, het durven innemen van een voorlopig standpunt, een kritische houding tegenover zichzelf en 'de' theorie, doorzettingsvermogen als een resultaat anders is als verwacht. Het belang van een goede onderzoekshouding of een kritische 'wetenschappelijke houding' wordt door verscheidene auteurs aangegeven (de Vos en Genseberger (2000), Smits e.a. (2000) en van Rens en Dekkers (2000)). De Vos en Genseberger merken daarbij op dat dit aspect in het onderwijs niet veel aandacht krijgt.

Onderzoeksvaardigheden

Uit de logboeken van de OA's blijkt dat zij onderzoeksvaardigheden in algemene zin nauwelijks kunnen benoemen. Het gaat altijd om een specifieke situatie: het interpreteren van een formule, het kiezen en/of variëren van een grootheid, het aangeven waarom een resultaat niet klopt, een vraag van een student waar de OA geen direct antwoord op heeft, of een technisch probleem. In de concrete begeleiding blijken algemene categorieën als: een probleem kunnen formuleren, het experiment goed kunnen uitvoeren, de resultaten kunnen verwerken, niet werkbaar te zijn om het onderzoek van de studenten bespreekbaar te maken.

Complexiteit van de onderzoekscontext.

Uit de logboeken van de studenten en OA's blijkt steeds weer hoe complex de context van zelfs eenvoudige experimenten is. Bekende en onbekende begrippen die toegepast worden, onbekende en soms niet-werkende apparatuur, aangesproken worden op zelfstandigheid en verantwoording moeten afleggen voor zijn activiteiten, dat alles maakt onderzoekssituaties nog veel complexer dan bijvoorbeeld een werkcollege, waar sommen moeten worden opgelost.

Bespreekbaar kunnen maken van onderzoeksactiviteiten

Uit het werk van Van Keulen en Goedhart blijkt het belang van de 'wetenschappelijke discussie' in het doen van onderzoek. Juist in de communicatie met anderen wordt helder of onderzoeksresultaten overtuigend zijn, en of ideeën en uitkomsten valide zijn. Dit blijkt ook uit het feit dat de logboeken van

de studenten en OA's meestal summier zijn ingevuld. Juist in de *bespreking* van de logboeken kon pas verhelderd, en toegespitst worden wat zij wilden zeggen. Een student merkte op: 'ik leer in deze bespreking veel meer dan tijdens het experiment'. De interactie met een ander is dus nodig om vorderingen te maken in het proces van leren onderzoeken. De studenten geven dit ook aan in de antwoorden op de vragenlijst. Vooral studenten uit cursus 6 hechten groot belang aan het opstellen van een werkplan en het schrijven van een verslag, twee momenten waarop zij zich moeten verantwoorden voor hun onderzoeksactiviteiten. De waardering daarvoor is toegenomen vergeleken met studenten in cursus 1.

Mate van belang van een activiteit voor de student	Cursus 1 (n=12)	Cursus 6 (n=14)
- Het houden van een werkplanbespreking is zinvol	3.4 ± 0.3	4.2 ± 0.2
- Het houden van een werkplanbespreking is moeilijk	3.3 ± 0.3	2.4 ± 0.3
- Het schrijven van een verslag is zinvol	3.6 ± 0.2	4.1 ± 0.3
- Het schrijven van een verslag is moeilijk	3.4 ± 0.3	3.9 ± 0.2

Tabel 3: *Het belang dat de studenten toekennen aan het houden van een werkplanbespreking en het schrijven van een verslag (1-5 waarderingsschaal)*

Uit de toelichtingen op deze vragen blijkt waarom:

- 'Het dwingt me te plannen en mijn gedachten uit te werken en te structureren voor ik aan het meten begin'
- 'Ik leer er uit te leggen wat ik heb gedaan op een heldere manier'

Ook Johnstone (1998) stelde de noodzaak vast om met studenten het werk te bespreken. In de practica die hij onderzocht worden de besprekingen voorafgaand aan het praktisch werk gehouden. Wij kiezen er bewust voor dit een onderdeel te laten zijn van de doorgaande begeleiding. Op deze manier krijgen de studenten gericht feedback tijdens het hele proces van onderzoeken. Blijkbaar onderkennen de studenten het belang hiervan.

5.2 Moeilijkheden die studenten hebben bij het doen van onderzoek.

Studenten hebben als zij de universiteit binnenkomen er moeite mee om de nodige kennis en experimentele procedures en technieken expliciet te gebruiken. De studenten handelen nog op het intuïtieve niveau volgens Ten Voorde. Zij gebruiken de begrippen zonder de betekenis expliciet te kunnen maken, of gebruiken een experimentele techniek als het plaatsen van een lens in de opstelling, zonder te kunnen beargumenteren waarom ze dat doen. Argumenten gaan vaak niet verder dan: 'omdat het in de handleiding staat, of: moet dat dan niet?'

Studenten hebben ook nog moeilijkheden met het op elkaar betrekken van theorie en praktijk. Ook al zien zij dit als een essentiële activiteit in het doen van onderzoek, zij beheersen dit nog niet. Ze blijven nog teveel steken in het domein van de begrippen (ze blijven maar lezen en rekenen) of in het domein van de experimentele procedures (ze blijven maar meten) en zijn nog niet geneigd de oversteek te maken en de twee domeinen op elkaar te betrekken.

Het ter discussie stellen van theorieën en resultaten en het onderbouwen van beweringen in termen van validiteit en betrouwbaarheid is nieuw voor beginnende studenten. 'Die formule is toch juist? Waarom zou ik dan dat verschijnsel onderzoeken?' zo roept bijvoorbeeld een student uit. Voor hem is

theorie nog vanzelfsprekend, en niet een poging om de weerbarstige werkelijkheid te beschrijven waar je het gesprek over aan gaat. Als het experimentele resultaat niet klopt met de theorie constateert een student: 'er is iets fout gegaan' en is niet geneigd om dan verder te gaan onderzoeken. Deze en de meeste andere studenten hebben nog niet de juiste onderzoekshouding.

Studenten hebben ook moeite met te reflecteren op eigen onderzoeksgedrag. Uit de logboeken blijkt dat zij niet of nauwelijks aan geven wat zij een volgende keer anders gaan doen. Vragen over de kwaliteit van hun activiteiten stellen zij zichzelf niet. Werkplanbesprekingen zien zij nog teveel als een overhoring i.p.v. 'wetenschappelijk gesprek'. Overigens spreken de OA's hen in de werkplanbesprekingen nog te weinig aan op deze reflectie.

Andere problemen zijn: studenten plannen hun activiteiten onvoldoende, verliezen zich in details en verzuimen overzicht aan te brengen in hun activiteiten. Het blijkt dat studenten als zij de universiteit binnenkomen nog onvoldoende vaardig zijn in het toepassen van experimentele procedures zoals door Millar et al. (1995) beschreven (het controleren van variabelen, het kiezen van het geschikte meetbereik, het juiste gebruik van een grafiek, het werken volgens principes van validiteit en betrouwbaarheid).

5.3 *Moelijkheden die OA's hebben bij het begeleiden*

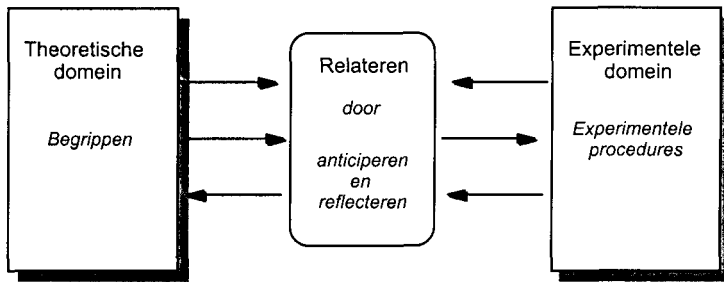
De OA's begeleiden teveel vanuit wat zich toevallig voordoet, zonder het belang van hun interventie af te wegen. Zij hebben er moeite mee om de logboeken bij te houden, en kunnen hun begeleiding moeilijk expliciet beschrijven. Zij begeleiden dus nog op het intuïtieve niveau. Zij zijn niet in staat om de problemen die studenten hebben met de (natuurkundige) inhoud te analyseren op een formele manier zoals door Reif beschreven. Het gevolg hiervan is dat de OA's niet goed de problemen die studenten hebben kunnen identificeren en kunnen vast stellen welke feedback nodig is in een specifieke situatie. Daarnaast zijn de OA's niet geneigd om de studenten expliciet te trainen in de methodische aspecten van het onderzoek doen of hen te laten reflecteren op hun eigen onderzoeksgedrag.

6. Model van onderzoek doen en Strategie van begeleiden

6.1. *Model van onderzoek doen*

De vraag die in deze fase van dit onderzoek centraal staat is: Hoe begeleidt de OA op het practicum, zo dat er recht wordt gedaan aan de kenmerken van onderzoek doen, en de moeilijkheden die studenten daarmee hebben? Deze moeilijkheden zijn samen te vatten met: studenten gebruiken hun kennis over begrippen en experimentele technieken en procedures intuïtief, hebben moeilijkheden met het op elkaar betrekken van theorie en praktijk, en zijn niet gewend hun eigen ideeën of de theorie onder kritiek te stellen.

Om in het begeleiden van de studenten hierop in te kunnen spelen is een model van onderzoek ontwikkeld dat de mogelijkheid biedt om het doen van onderzoek én de moeilijkheden die studenten daarmee hebben bespreekbaar maken. Het model (*zie fig. 1*) is geïnspireerd door het model dat Gott en Duggan (1995) gebruiken voor het doen van onderzoek in het voortgezet onderwijs. Zij zien echter nog een gescheiden weg voor het ontwikkelen van procedurele kennis in de onderzoekspractica in het voortgezet onderwijs naast het ontwikkelen van de conceptuele kennis. In het PACKS model dat zij samen



Figuur 1: Model van onderzoek doen.

met Millar en Lubben (1995) gebruiken richten zij zich ook vooral op de procedurele kennis.

In ons model zijn beide domeinen van kennis gelijkwaardig. Kenmerkend voor het doen van experimenteel onderzoek is het op elkaar betrekken van beide domeinen. Gekoppeld aan dit model behoren een viertal sleutelactiviteiten. Als uitkomst van de eerste fase van het onderzoek kwam naar voren dat aan dit model een viertal sleutelactiviteiten zijn gekoppeld, die het doen van onderzoek verder karakteriseren. Het zijn ook die activiteiten waar studenten moeilijkheden mee hebben:

1. **Mobiliseren** van benodigde en beschikbare kennis (zowel wat betreft de natuurkundige begrippen, als de experimentele procedures en technieken). Mobiliseren wordt hier gedefinieerd als: betekenis geven aan de begrippen en hun onderlinge relaties en deze toepassen in de experimentele context en daarbij de mogelijkheden van de experimentele technieken kunnen inschatten.
2. **Anticiperen**: van theorie naar fysische werkelijkheid. Hoe interpreteer je de formules of beschrijvingen, welke onderstellingen maak je daarbij en wat voor gevolgtrekkingen maak je daaruit voor de experimentele opzet? Kun je vanuit theoretische overwegingen voorspellen wat er in het experiment zal gebeuren?
3. **Reflecteren**: vanuit fysische werkelijkheid naar theoretische begrippen. Hoe interpreteer je de resultaten in het licht van de probleemstelling? Wat betekenen de experimentele randvoorwaarden voor de theoretische beschrijvingen?
3. **Beweringen onderbouwen** op basis van *betrouwbaarheid* (in hoeverre kan je op je resultaten aan?) en *validiteit* (in hoeverre zijn je ideeën/theorieën juist?). Deze activiteit omvat de vorige drie, aangezien voor het onderbouwen van beweringen de eerste drie nodig zijn.

6.2. Strategie voor begeleiden

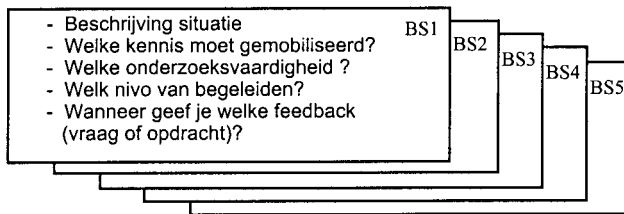
De begeleiding door de OA's is erop gericht de studenten onderzoek te laten doen waarbij zij de vier sleutelactiviteiten leren beheersen. Het gaat erom hen te leren expliciet te maken welke kennis (van zowel conceptuele als procedurele aard) zij moeten inzetten, en hoe zij de conceptuele kennis koppelen aan de procedurele kennis (het anticiperen en reflecteren). Studenten wordt geleerd hun onderzoeksgedrag te laten onderbouwen. Daarvoor is een strategie

voor begeleiden ontwikkeld. De strategie is erop gericht dat de OA's op hun beurt hun begeleiden leren expliciteren en onderbouwen. Hiervoor is gebruik gemaakt van het begrip *oriënteringsbasis* van Van Streun. Begeleiden van 'leren onderzoeken' is te beschouwen als een vorm van probleemoplossen. OA's moeten het vermogen ontwikkelen om in verschillende, nieuwe situaties het geschikte begeleidingsgedrag te kunnen vast stellen. Daarvoor willen wij hen voor elk experiment dat zij begeleiden een oriënteringsbasis laten opbouwen. Net als studenten bij het doen van onderzoek wendbaar moeten zijn in het selecteren en toepassen van de nodige kennis in nieuwe situaties zo moeten OA's wendbaar zijn in het selecteren en toepassen van begeleidingsprincipes.

Een oriënteringsbasis (zie fig. 2) is daarbij een verzameling van beschreven begeleidingssituaties waarbij is aangegeven:

- welke twee typen kennis (uit het theoretische en experimentele domein) in het geding zijn;
- welke onderzoeksvaardigheid aan de orde is;
- welk niveau van begeleiden nodig is ;
- welke feedback gegeven wordt op welk tijdstip.

Juist het vast stellen van het niveau van begeleiden is belangrijk. Door OA's het niveau van begeleiden te laten vast stellen, worden ze erop gericht hun begeleiding te onderbouwen en krijgen ze tevens een instrument in handen om de voortgang van de studenten te volgen.



Figuur 2: Oriënteringsbasis met verschillende begeleidingssituaties (BS).

Een belangrijk aspect bij zo'n oriënteringsbasis is om in elk van de situaties vast te stellen welk niveau van begeleiden er gekozen moet/kan worden. Daarbij zijn er **drie niveaus van begeleiden** te onderscheiden:

- B1. *voordoen*; dit begeleidingsniveau past bij situaties waar een onderzoeksvaardigheid aan de orde is die (nog) niet onderwezen hoeft te worden (omdat die geen prioriteit heeft in het betreffende practicum of nog te moeilijk is voor de student in die fase);
- B2. *op weg helpen via vragen en korte opdrachten*;
- B3. *overlaten aan de student*; dit niveau past bij situaties waar de assistent verwacht dat de student een bepaalde onderzoeksvaardigheid zou moeten beheersen.

De assistenten worden getraind en gecoacht om dergelijke oriënteringsbases te gebruiken en zelf verder uit te bouwen. Een voorbeeld van een begeleidingssituatie staat in kader 1.

Er is niet de pretentie dat de oriënteringsbases volledig zijn. Het wordt daarom ook een 'basis' genoemd, omdat het begeleiden vanuit de reeks voorbeelden die in de basis beschreven staat, wordt vorm gegeven. De bedoeling is dat OA's zich professionaliseren en leren hun begeleidingsgedrag te onderbouwen. Dit onderbouwen gebeurt tijdens het coachen.

7. Bevindingen met het gebruik van de strategie

7.1. De begeleiding door de OA's.

De strategie van begeleiden is na het eerste jaar vooronderzoek geïntroduceerd bij de OA's. De bedoeling was dat de OA's de oriëntatiebases zelf zouden uitbouwen.

De OA's vinden het model duidelijk, herkennen de problemen van studenten in het niet beheersen van de vier sleutelactiviteiten. Met name het vaststellen van het niveau van begeleiding helpt hen beter in te spelen op de problemen van studenten. Het wordt zo duidelijk dat zij veelal een te hoog (dus te open) begeleidingsniveau inschatten. Er is veel strakkere begeleiding nodig dan zij verwachten, met name in het begin van de cursus.

OA's zijn ook in staat om met het vaststellen van een begeleidingsniveau het meest geschikte tijdstip te kiezen waarop feedback te geven. Zij vinden het nog wel moeilijk om de voortgang van individuele studenten vast te stellen.

'Bij elk experiment kan ik wel zeggen: dit is het stappenplan dat ze moeten volgen, en kan ik ook de specifieke onderzoeksvaardigheid aan bod laten komen. Maar als het erom gaat om een student iets aan te leren en te volgen of hij de volgende keer dat ook beter doet, dat lukt me niet zo goed.'

OA's hebben moeite om de verschillende oriënteringsbases zelf uit te bouwen en nieuwe begeleidingssituaties te beschrijven. Ze zijn niet gewend hun begeleiding te verantwoorden en moeten daartoe worden aangestuurd door de onderzoeker. Zij geven aan dat zij juist veel leren van de besprekingen waarin een concreet voorbeeld van een begeleidingssituatie aan de orde wordt gesteld. Het vaststellen van welke concrete feedback in een bepaalde situatie gekozen moet worden blijkt moeilijk te zijn. Analyse van verschillende begeleidingssituaties gaf aan dat er een aantal standaardmanieren zijn om het onderzoek met de studenten bespreekbaar te maken. Voorbeelden hiervan zijn: het interpreteren van een grafiek, het bespreken van de experimentele methode aan de hand van een tekening van de schakeling (aardingsproblemen, of de invloed van een voltmeter op het verkregen resultaat), het interpreteren van een formule. Er zijn daarom ook een aantal werkvoorbeelden uitgewerkt om de OA's nadrukkelijker te trainen in hoe het onderzoek bespreekbaar te maken met studenten (zie kader 2).

De OA's geven in hun besprekingen met studenten nog weinig aandacht aan reflectie. Het expliciet analyseren van de kwaliteit van handelen van de studenten, niet alleen bij de verslagbespreking maar ook tijdens de andere besprekingen gebeurt nauwelijks. Het expliciet bespreken van de consequenties van gemaakte aannames en daarop in een latere bespreking ook terug komen, het door de studenten laten samenvatten of herhalen van een gedachteswisseling, gebeurt weinig.

7.2. Effecten op het onderzoeksgedrag van de studenten.

Ook al heeft de strategie voor begeleiden nog niet, of nog niet optimaal gefunctioneerd, toch zijn er verbeteringen aan te tonen in het onderzoeksgedrag van studenten.

Het op elkaar betrekken van theorie en praktijk gaat studenten in cursus 6 beter af. Zie bijvoorbeeld het volgende gesprek tussen de onderzoeker (I) en een student (St):

- I: Was het een leuk experiment?
 St: Ja. een heel leuk experiment
 I: Waarom?
 St: Omdat je op een hele andere manier tegen de theorie bent gaan aankijken. De theorie ging nu veel meer voor mij spreken.
 I: Hoe kwam dat?
 St: Moeilijke vraag.
 I: Welke activiteit was het waardoor je anders tegen de theorie ging kijken?
 St: Gewoonlijk verdiepte je je meer in de theorie en probeerde je daar het doel van je experiment te vinden. Veel wiskundiger. Nu deden we dat anders. Door naar het verschijnsel te kijken, probeerden we wat theoretische verbanden te vinden. Daardoor was het veel minder wiskundig.

Juist door het experiment krijgen de theoretische begrippen (nieuwe) betekenis voor de studenten. Zie een uitspraak van een andere student uit cursus 6: 'Ik heb het gevoel dat ik op het practicum dingen heb uitgeprobeerd, die ik niet zo snel gevonden zou hebben in de theorie. Je hebt veel theorie, maar je moet zelf uit vinden wat belangrijk is, wat je gaat gebruiken, en je moet zelf bedenken wat te gaan doen.'

Ook treden er verbeteringen op wat betreft hun onderzoekshouding. Zie het gesprek met een andere student:

- I: Welke onderzoeksvaardigheid kwam hier aan bod?
 St: Vooral het leren kijken naar vergelijkingen, bewegingsvergelijkingen. Ik ga er nu wat makkelijker mee om.....
 I: Hoe komt dat? waarom gaat dat nu gemakkelijker? wat is daar voor nodig?
 St: Een stukje begeleiding, dat heb ik dus ook gehad.
 I: Wat voor type begeleiding was het waar door het tot zijn recht kwam?
 St: Eh, toch helpen.
 I: Is dat voordoen, of jullie opdrachten geven, uitdagen
 St: Uitdagen
 I: Uitdagen roept bij mij op, dat je het uiteindelijk zelf hebt moeten kunnen doen.
 St: Alsof je het ook zonder hulp zou kunnen doen?
 I: Ja.
 St: Ja dat was wel zo.
 I: Welke activiteit is daar bepalend voor?
 St: Ja, dat is nu zo'n beetje waar allemaal om draait. Als we daar al waren...
 I: Heb je daar iets meer zicht op?
 St: Ik denk toch dat het stellen van de juiste vragen zijn, want eh kijk, op een gegeven moment zit je vast, je komt niet verder, en eh door dan een juiste opmerking te maken, een juiste vraag te stellen, krijg je denk ik een ander beeld, het is belangrijk dat je gezichtspunt dan ietsje verschuift, zodat je wel verder kunt.
 I: Dat wordt dus door de begeleider aangedragen. Kan je dat de volgende keer ook zelf?
 St: (lacht) Nou, daar heb ik wel over nagedacht. Dat is natuurlijk waar de B-serie (cursus 6) om draait, denk ik. en eh, ja, dat is natuurlijk een heikel punt. een

beetje onzeker ook. Maar ik denk dat dat alleen maar kan door leren uit ervaring, of dat zo is.

Deze student weet dat hij het onderzoek zelf ter hand moet nemen en dat hij dat ook kan, maar nog niet zover is. Voorlopig heeft hij nog de hulp van de OA nodig die hem uitdaagt. Hij raakt niet van slag als de OA hem confronteert met een opmerking om zijn eigen idee bij te stellen. Iets wat beginnende studenten nog wel vaak overkomt.

Een opvallend punt is dat studenten uit cursus 6 minder tevreden zijn over de begeleiding dan die van cursus 1. Misschien een gevolg van hun groter zelfvertrouwen en hun kritischer houding. Uit een open vraag uit de vragenlijst waarin zij aan moesten geven wat zij een belangrijke vaardigheid vinden om onderzoek uit te voeren, geven studenten uit cursus 6 opvallend vaker affectieve factoren aan, zoals: creativiteit, onafhankelijk zijn, nauwkeurig werken, motivatie en discipline dan studenten uit cursus 1 (29 maal door 14 studenten tegen 9 maal door 12 studenten).

8. Discussie en conclusies

In ons model voor het doen van onderzoek wordt onderzoek gekenmerkt door het toepassen van theoretische kennis in een nieuwe experimentele context. Van belang hierbij is de grote wendbaarheid die nodig is om voortdurend de theorie te betrekken op de praktijk en andersom. Zo worden gaandeweg ideeën helder, krijgen deze meer betekenis, en worden argumenten gevonden om verworven inzichten te onderbouwen. Dit model is verschillend van veel andere gebruikte modellen van onderzoek, zoals het model van het min of meer lineair doorlopen van een aantal onderzoeksfasen als observeren, hypothese stellen, meten, enz. Deze fasen zijn weliswaar kenmerkend voor het doen van onderzoek, maar zijn meer een beschrijving achteraf van wat onderzoek kenmerkt, in plaats van dat het beschrijft hoe onderzoek in werkelijkheid verloopt. Smits e.a. (2000) geven aan dat een dergelijk gefaseerd model een beschrijving is vanuit een rechtvaardigingscontext in plaats van een ontdekkingscontext.

Onderzoeksvaardigheden zijn vaardigheden om een onderzoek uit te kunnen voeren. Vanuit ons model gaat het dan om vaardigheden als het kunnen mobiliseren van kennis, het kunnen (natuurkundig) anticiperen en reflecteren, en kunnen argumenteren over ideeën en gebruikte methoden. In specifieke situaties gaat het dan om vaardigheden als: uit kunnen leggen wat coherentie van licht betekent, en wat de relatie is tussen coherentie en een lens in de opstelling (zie kader 1), of: waarom een grafiek niet door de oorsprong gaat (zie kader 2).

We volgen daarmee de lijn die Millar en Driver (1987), Lijnse (1994) en Smits e.a. (2000) aangeven, namelijk dat het er niet om gaat leerlingen of studenten algemene vaardigheden als hypothese stellen of observeren te laten verwerven, maar om hen deze te leren inzetten en te ontwikkelen in steeds meer en complexere contexten. In ons geval die van het natuurkundig onderzoek. Ons model samen met de daarbijbehorende 4 sleutelactiviteiten lijkt beter bruikbaar om studentmoeilijkheden met het uitvoeren van onderzoek te beschrijven en zo het begeleiden van leren onderzoeken te sturen, dan het model waarin onderzoek als het doorlopen van een aantal fasen wordt beschreven.

Voor de begeleiding betekent dit dat de OA ook een grote wendbaarheid moet bezitten om in nieuwe en vaak onverwachte situaties het proces van onderzoeken te kunnen begeleiden. De OA's hebben deze wendbaarheid niet. De strategie voor het begeleiden lijkt een geschikt instrument om de OA's hun eigen begeleiden zelf te leren structureren en een geschikte feedback vast te stellen in concrete situaties.

Vorbereiding van de OA's op hun begeleidende taak is noodzakelijk, evenals coaching gedurende de cursus. De strategie is weliswaar duidelijk, maar krijgt gaandeweg pas betekenis voor hen. OA's leren vanuit uit concrete situaties over hun begeleiden, maar zijn nog niet goed in staat hieruit algemene aanwijzingen af te leiden voor dat begeleiden. Zij zijn nog te afhankelijk van de inbreng van hun coach. Het doel van de strategie, dat OA's in nieuwe situaties zelfstandig de goede begeleiding kunnen vast stellen, is nog niet bereikt. Daar richt de volgende fase van het onderzoek zich op. De training vooraf en de coaching gedurende de cursus krijgt daarbij extra aandacht en wordt minder vrijblijvend. Er zijn aanwijzingen dat de strategie bruikbaar is. Maar dat zal de komende fase van het onderzoek nog scherper moeten worden aangetoond.

Literatuur

- Akker J. van den (1999). Principles and methods of developmental research. In: J. van den Akker, R.M. Gustafson, K. Branch, N. Nieveen & T. Plomp (eds), *Design approaches and tools in education and training* (pp.1-14). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Boud, D.J., Dunn, J., & Hegarty-Hazel, E. (1989). *Teaching in Laboratories*. Philadelphia: Open University Press.
- Elzenga, H.E. (1991). *Kwaliteit van kwantiteit*. Utrecht: Dissertatie Rijks Universiteit Utrecht.
- Ferguson-Hessler, M.G.M. & Jong, T de. (1993). Does Physics Instruction Foster University Students' Cognitive Processes? A descriptive study of teacher activities. *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (7), 681-696.
- Goedhart, M.J. (1990). *Metten: Normen en Waarden*. Utrecht: Dissertatie Rijks Universiteit Utrecht.
- Gott, R. & Duggan, S (1995). *Investigative work in the science curriculum*. Buckingham /Philadelphia: Open University Press.
- Haren, R. van (1993). *Leerplandocument: Eigen Experimenteel Onderzoek*. Enschede: SLO.
- Hegarty-Hazel, E. (1990). Life in science laboratory classrooms at tertiary level. In: Hegarty-Hazel (ed.) *The student laboratory and the science curriculum*. London: Routledge.
- Jager, H. de (1985). *Leren synthetiseren. Symbiose van ambacht en wetenschap*. Utrecht: Dissertatie Rijks Universiteit Utrecht.
- Johnstone, A.H., Watt, A., & Zaman, T.U. (1998). The students' attitude and cognition change to a physics laboratory. *Physics Education*, 33, nr. 1, 22-29.
- Keulen, H. van (1995). *Making Sense*. Utrecht: CD-press, Dissertatie Universiteit Utrecht.
- Kirschner, P.A. (1991). *Practicals in Higher Education*. Heerlen: Open Universiteit.
- Laws, P.M. (1996). Undergraduate Science Education: a Review of Research. *Studies in Science Education*, 28, 1-85.

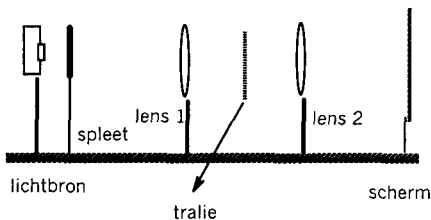
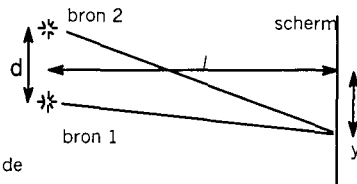
- Lijnse, P.L. (1994). Probleemoplossen en algemene vaardigheden: een poging tot discussie. *Tijdschrift voor Didactiek der Beta-Wetenschappen*, 12 (3), 246-260.
- Lijnse, P.L. (1995). "Developmental Research" as a way to an empirically based "didactical structure" of science. *Science Education*, 79 (2), 189-199.
- Lock, R. (1990). Open-ended, problem-solving investigations. *School Science Review*, 71 (256), 63.
- Meester, M.A.M. & Maskill, R. (1995). 'First year chemistry practicals at universities in England and Wales; organizational and teaching aspects'. *International Journal of Science Education*, 17 (6), 705-719.
- Millar, R. & Driver, R. (1987). Beyond processes. *Studies in Science Education*, 14, 33-62.
- Millar, R., Lubben, F., Gott, R., & Duggan, S. (1995). Investigating in the school science laboratory: conceptual and procedural knowledge and their influence on performance. *Research Papers in Education*, 9 (2), 207-218.
- Niedderer, H., Haller, K., Hucke, L., & Florian, S. (1997). Learning processes during labwork in introductory physics courses in university. Paper presented at the first ESERA-conference, Rome.
- Reif, F. (1995). Millikan Lecture 1994: Understanding and teaching important scientific thought processes. *American Journal of Physics*, 63 (1), 16-32.
- Rens, E.M.M. van & Dekkers, P.J.J.M. (2000). Leren onderzoeken – de rol van de docent. *Tijdschrift voor Didactiek der Beta-Wetenschappen*, 17 (1), 76-94.
- Ryder, J., & Leach, J. (1999). University science students' experiences of investigative project work and their images of science. *International Journal of Science Education*, 21 (9), 945-956.
- Smits, Th., Lijnse, P.L. & Bergen, Th. (2000). Leerlingonderzoek met kwaliteit. *Tijdschrift voor Didactiek der Beta-Wetenschappen*, 17 (1), 14-30.
- Streun, A. van. (1994). Hoe onderwijs je probleemoplossen? *Tijdschrift voor Didactiek der Beta-Wetenschappen*, 12 (3), 210-225.
- Stuurgroep Profiel Tweede Fase VO (1995). *Advies examenprogramma's havo en vwo: Biologie, Natuurkunde, Scheikunde*. Enschede: SLO.
- Voorde, H.H. ten. (1977). *Verwoorden en Verstaan*. 's Gravenhage: Staatsuitgeverij.
- Vos, W. de & R. Genseberger (2000). 'Onderzoek doen' in natuurwetenschappelijke vakken. *Tijdschrift voor Didactiek der Beta-Wetenschappen*, 17 (1), 4-13.

Kader 1

Voorbeeld van een begeleidingssituatie uit een oriënteringsbasis van een experiment. Voor de duidelijkheid is ook het principe en de opstelling gegeven

Experiment: Bepaling golflengte van natrium licht.

Het principe van de experimentele methode is het volgende: Lichtgolven afkomstig van 2 coherente bronnen interfereren op het scherm. (coherent betekent dat het licht monochromatisch is en dezelfde fase heeft) Indien het weglengteverschil van het licht uit de twee bronnen gelijk is aan $n \cdot \lambda$ ontstaat er een maximum, indien het weglengteverschil gelijk is aan $(n + 1/2) \lambda$ ontstaat er een minimum. Voor het n-de maximum op de positie y kan de volgende uitdrukking voor de golflengte afgeleid worden: $\lambda = d \cdot y / n \cdot l$. Hierbij is d de afstand tussen de twee bronnen en l de afstand tussen de bronnen en het scherm.

**Experimentele opstelling**

Studenten moeten de opstelling zelf opbouwen. Ze hebben de keuze uit verschillende methoden. Hiernaast staat de methode met het tralie. Nu zijn er niet 2 maar veel meer bronnen, die allemaal coherent behoren te zijn. Daarom zijn er 2 lenzen nodig. De lenzen hebben hier de functie om te zorgen dat alle bronnen in het tralie coherent zijn (lens 1) en dat het weglengte verschil voor alle bronnen gelijk is (lens 2). N.B. De lenzen hebben hier dus niet de functie om een voorwerp af te beelden.

Begeleidingssituatie:

De student gebruikt geen tweede lens en vraagt zich ook niet af waarom het buigingspatroon zo slecht is.

Conceptuele kennis:

De begrippen coherentie, interferentie, en weglengte verschil.

Procedurele kennis:

Lenzen gebruiken om coherentie te verkrijgen

Onderzoeksvaardigheid:

Theoretisch begrip van coherentie koppelen aan de praktijk situatie van het plaatsen van een lens.

Te ondernemen actie:

Vraag de student eerst het principe van de methode te beschrijven, en een inventarisatie te maken van de belangrijke begrippen. Vraag de student hoe je in de experimentele opstelling ervoor kan zorgen dat je coherente lichtbronnen hebt. Verwijs zo mogelijk naar de literatuur. Laat de student tenslotte beschrijven welke twee functies een lens kan hebben.

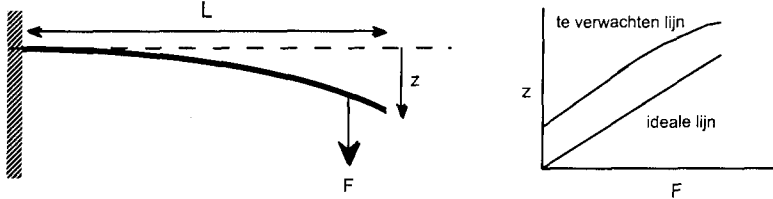
Begeleidingsniveau:

B1 in het begin van de serie; het blijkt immers dat geen een student zich realiseert, dat een lens die tweede functie kan hebben. Later kan het niveau B2 worden. Het doel van de A-serie is juist om studenten kritisch te leren denken, en zich te kunnen realiseren wat de betekenis is van de verschillende experimentele procedures. In dit geval het gebruik van een lens.

Kader 2

Een werkvoorbeeld: de buigende staaf.

Doel van dit experiment uit cursus 1 is Young's modulus (Y) van staal te bepalen. Y is een constante die iets zegt over de elastische vervorming van het materiaal. De directe methode is de staaf uit te rekken. Hier is echter een zeer grote kracht voor nodig en dat is dus moeilijk uitvoerbaar. Een betere methode



Figuur 3: Een staaf met lengte L buigt over een afstand z ten gevolge van een uitgeoefende kracht F .

Is daarom de staaf te buigen.

In de instructies is een hoofdstukje gekopieerd uit de Feynman lectures II (38-4). Hierin staat een formule afgeleid voor de doorbuiging z . Verder zijn enige aanwijzingen gegeven voor een veilig gebruik van de apparatuur. De studenten moeten de experimentele opstelling zelf opbouwen en de keuze maken wat betreft de groottes van de verschillende parameters.

Wat gebeurt er gewoonlijk? Studenten lezen de theorie door, en zien een eindformule staan $z = F.L^3 / 3.Y.I$. (I = het geometrisch traagheidsmoment, een maat voor de vorm van de staaf). De studenten gebruiken zo'n eindformule zonder erbij na te denken, brengen eenmaal een kracht F aan, meten de doorbuiging z , de lengte L en berekenen de I en daaruit bepalen ze dan Y , zonder dat ze begrepen hebben wat de betekenis van die formule was, of enig inzicht hebben in de draagwijdte en beperkingen van de experimentele procedures. Wanneer nu de uitkomsten niet overeenkomstig de theorie zijn, raken ze van hun stuk. Om het verschijnsel te verklaren is het behulpzaam om voordat een experimentele opstelling wordt gebouwd de beschrijvende formule te interpreteren en de natuurkundige begrippen die daarin een rol spelen betekenis te geven op een meer kwalitatieve manier. *Is het aannemelijk te maken wat de dikte, de lengte, en de vorm van de staaf en de aangebrachte kracht voor invloed heeft op het verschijnsel?*

Zo'n interpretatie betekent niet dat er een wiskundige afleiding wordt gevraagd, maar dat de natuurkundige principes besproken worden aan de hand van de formule. *Leg eens uit wat I is, en waarom staat hij in de noemer? Hoe komt het dat in de uitdrukking de lengte er tot in de derde macht voorkomt? Hebben die overwegingen consequenties voor de opstelling?* Zo'n kwalitatieve bespreking kan in dit geval heel goed ondersteund worden door de studenten te vragen een schets te maken van de te verwachten grafiek. Vragen die dan gesteld kunnen worden zijn bijvoorbeeld: *Wat voorspelt de formule voor soort grafiek? Zal die er in werkelijkheid ook zo uitzien? Volgens jouw afleiding heeft de staaf geen eigen massa. Dat is niet zo. Wat betekent dat voor de grafiek? In de afleiding wordt verondersteld dat de kracht loodrecht aangrijpt op de staaf. Is dat altijd het geval? Schets dat eens in de grafiek.*

Zo is het schetsen van een grafiek dus een krachtig instrument om een verschijnsel bespreekbaar te maken. Het geeft ook aan dat het maken van een grafiek meer is dan een technische vaardigheid, maar ook een onderzoeksvaardigheid kan zijn. Zo'n gesprek aan de hand van een te schetsen grafiek kan allerlei aanwijzingen opleveren voor de experimentele methode: hoeveel meetpunten en over welk bereik heb je nodig? Ga eerst eens wat oriënterend meten. De afsnijding met de y-as geeft ook informatie over Youngs modulus en kan aanleiding zijn tot een extra methode om Y te bepalen.

Voor veel experimenten is het mogelijk te kiezen voor een gepast bespreekmodel. Zo zal je in optica licht als stralengang vaak verkiezen boven licht als *golf afhankelijk* van het probleem. Om de invloed van een stroommeter op de resultaten te bespreken is het nuttig om een schema van het elektrisch circuit te tekenen met alle in- en uitgangsimpedanties en aardpunten. Dat bespreekt het probleem veel makkelijker.