

Leerlingonderzoek met kwaliteit

Th. Smits,
Instituut voor Leraar en School, KUN
P.L. Lijnse,
Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen, UU.
Th.Bergen,
Instituut voor Leraar en School, KUN

Summary

This contribution will focus on how students learn to do research in science education. Learning to do research is considered a practical job, the aim being that students acquire skills as well as knowledge in order to carry out research independently. If learning how to do research is taken seriously, students must be given opportunities to acquire the necessary knowledge and skills. One of the most important questions is which knowledge and skills will enable students to carry out high-quality research. Two important criteria for that kind of research, viz. reliability and validity, will be given special attention in this contribution. These criteria are highly important, as they prepare students for developing the necessary attitudes of critical distance and reflection with respect to their own investigative work.

1. Inleiding

Het doen van zelfstandig onderzoek door leerlingen moet gezien worden in de context van doelen voor het natuurwetenschappelijk onderwijs. Hoewel deze doelen mondiaal gezien regelmatig in discussie zijn (zie, bijvoorbeeld: Woolnough, 1983; Tamir, 1989; Hodson, 1992; Millar and Osborne, 1999) bestaat er wereldwijde consensus over de opvatting dat natuurwetenschappelijk onderwijs leerlingen niet alleen vakinhouden (feiten, begrippen en wetten) dient bij te brengen, maar ook kennis en vaardigheden met betrekking tot het doen van onderzoek (Boud e.a., 1989; Millar e.a., 1994; Lubben & Millar, 1996).

In Nederland werd bij de revisie van de examenprogramma's voor de exacte vakken in het kader van de Vernieuwde Tweede Fase, in aansluiting op deze ontwikkeling, als één van de algemene doelstellingen geformuleerd: 'Leerlingen verwerven kennis van en inzicht in de beginselen van de methoden waarmee binnen de natuurwetenschappen kennis verzameld kan worden en kunnen hun kennis en vaardigheden in deze vakken gebruiken om nieuwe kennis op te doen en/of nieuwe vaardigheden te ontwikkelen' (Stuurgroep Profiel Tweede Fase, 1995).

Ervan uitgaande dat het doen van eigen onderzoek door leerlingen een belangrijke rol heeft te spelen voor het verwezenlijken van dit soort doelstellingen, wordt in dit artikel nader ingegaan op de vraag welke criteria ten grondslag zouden moeten liggen aan de uitvoering van 'onderzoek met kwaliteit'.

2. Practicum en leerlingonderzoek

Over het algemeen worden door docenten 'theorie' en 'practicum' gezien als de beide hoofdbestanddelen van een natuurwetenschappelijke les (Donnelly,

1998). Over de rol van practicum in het natuurwetenschappelijk leerproces is veel geschreven en onderzocht, zonder dat dit overigens tot eenduidige didactische opvattingen heeft geleid (zie hiervoor de recente overzichtsartikelen van Lazarowitz en Tamir (1994) en Lunetta (1998)). Van den Berg (1994) definieert practicum als een lesactiviteit waarbij 'leerlingen zelf meten en/of waarnemen en zelf apparatuur hanteren'. Dekkers (1997) merkt op dat het daarbij niet alleen gaat om het met meetinstrumenten verzamelen van kwantitatieve gegevens, maar dat kwalitatieve waarnemingen met bijbehorende beschrijvingen en verklaringen 'an sich' ook als practicum kunnen worden aangemerkt. Demonstraties door de docent worden over het algemeen niet als practicum gezien. Practicum is dus bij uitstek een situatie waarin de leerlingen zelf actief zijn, en wordt in de regel in kleine groepjes uitgevoerd.

In het verleden is meerdere malen onderzocht welke doelen docenten voor ogen hebben met het laten uitvoeren van practica door leerlingen en op welke wijze ze daaraan vorm geven (Lazarowitz en Tamir, 1994), ook in ons land (Schröder, 1975; Kuiper, 1992). Deze doelen kunnen worden ondergebracht in de volgende vier categorieën: 'het stimuleren van interesse en plezier', 'het onderwijzen van apparatuurvaardigheden', 'het onderwijzen van het natuurwetenschappelijke proces', en 'ondersteuning bij het leren begrijpen van vak-kennis' (Hodson, 1985).

In verband hiermee stellen Van den Berg en Giddings (1992) voor om drie soorten practicum te onderscheiden: 'apparatuurpracticum', waarbij het voornamelijk gaat om het inoefenen van apparatuurvaardigheden; 'begripspracticum', dat als belangrijkste doel heeft het ondersteunen van begripsontwikkeling, en 'onderzoekspracticum', dat bedoeld is om te leren onderzoeken.

Onderzoek heeft laten zien dat er de laatste decennia een verschuiving is opgetreden van prioriteit voor begripskennis in de richting van prioriteit voor natuurwetenschappelijke processen (Woolnough, 1976; Beatty & Woolnough, 1982; Nott, 1996). Deze verschuiving in met name Groot-Brittannië en de Verenigde Staten - en in mindere mate ook in Nederland (Kuiper, 1992)- is te verklaren vanuit de eerder genoemde veranderende opvattingen over natuurwetenschappelijk onderwijs in het algemeen en over de rol van het practicum in het bijzonder (Hodson, 1992; Kirschner, 1991; Lock, 1988). Deze verschuiving blijkt ook uit het opnemen van eindtermen die expliciet zijn gericht op het onderwijzen van onderzoeksprocessen in curriculumdocumenten en examenprogramma's, en uit methoden die zijn ontwikkeld om het onderwijzen van deze processen te bevorderen.

Keren we terug naar de hierboven geformuleerde doelstelling van de Stuurgroep Profiel Tweede Fase, dan houdt deze onder meer in dat er in het onderwijs ruimte moet zijn om leerlingen kennis en vaardigheden te laten ontwikkelen die betrekking hebben op het doen van onderzoek als een belangrijke methode om kennis te verwerven, en dat deze kennis en vaardigheden door de leerlingen in samenhang moeten kunnen worden aangeleerd, c.q. toegepast, in een door hen zelf uit te voeren onderzoek. Het proces van 'leren onderzoeken' omvat dus zowel een kennis/vaardigheden component (al dan niet aangeleerd in de 'gewone' lessen) als een toepassingscomponent, waarbij de leerlingen het geleerde in samenhang toepassen en uitbreiden door onderzoek te doen. Dit laatste wordt in het vervolg aangeduid met 'leerlingonderzoek'

Als we dit leerlingonderzoek met 'echt' wetenschappelijk onderzoek vergelijken, moeten we ons realiseren dat het hierbij om meer gaat dan alleen een schaalverschil. Immers, het gaat ook om meer fundamentele verschillen, qua product (de onderzochte kennis: lokale reproductie van feitenkennis versus constructie van algemene theorieën) en proces (de gebruikte methode: enkele losstaande lokale oefeningen versus een langdurig internationaal proces van theorievorming en toetsing). Desalniettemin wordt expertise in wetenschappelijk onderzoek voor het onderwijzen van leerlingonderzoek als zinvol gezien, zoals blijkt uit recent onderzoek, waarin docenten werden betrokken in researchprojecten met als doel hen de onderzoekende en procesmatige kant van natuurwetenschappen te laten ervaren (Gilmer, 1997; Ballas & Kielborn, 1997).

3. De wetenschappelijke methode en leerlingonderzoek

Een vraag, die we ons met betrekking tot het didactisch vormgeven van leerlingonderzoek dus moeten stellen is: wat kan er in de doelformuleringen bedoeld worden met 'wetenschappelijke methode' en wat zijn dan die 'onderzoeksvaardigheden'? De term 'wetenschappelijke methode' suggereert dat er een set van regels of voorschriften zou bestaan die, als het ware, algoritmisch zou leiden tot 'goede' nieuwe kennis. Als dit het geval zou zijn, dan zou het uiteraard voor de hand liggen om deze set regels ook uitgangspunt te laten zijn voor een didactiek van leerlingonderzoek.

Nu spreekt de term wetenschappelijke methode veel wetenschapsbeoefenaars intuïtief erg aan. Het bestaan van zo'n rationele methode zou immers een verklaring kunnen zijn voor het grote succes van de wetenschap. Het is dan ook begrijpelijk dat in de wetenschapsfilosofie veel moeite is gedaan om hierover meer helderheid te krijgen.

Daarbij is vooral het logisch-positivistische 'standaardbeeld' heel invloedrijk (geweest) (Chalmers, 1997; Koningsveld, 1993). Een belangrijk kenmerk hiervan is de rol van inductie. Wetenschap zou beginnen met objectieve waarnemingen waarin door middel van inductieve regels orde wordt ontdekt. Deze 'harde' waarnemingen, zouden dan de basis vormen voor 'ware' wetenschappelijke kennis omtrent de werkelijkheid (Chalmers, 1997). Maar o.a. vanwege het inductieprobleem, dat inhoudt dat we op grond van een eindig aantal waarnemingen er nooit zeker van kunnen zijn dat inductieve generalisaties ook waar zijn, bleek dit eenvoudige beeld niet zonder meer te handhaven.

Zowel op het idee van de 'onbevange waarneming' als op de rol van het inductivisme is, vooral in de persoon van Popper (1934; 1959), fundamentele kritiek geuit. Het kritisch rationalisme van Popper gaat uit van theorievorming op basis van het falsificeren van hypothesen. Deze dienen vervolgens streng te worden getoetst door waarnemingen en experimenten. Een theorie is dus nooit 'waar', maar hoogstens de beste die op dat moment beschikbaar is. In dit verband introduceerde Popper ook het idee van de theorie-geladen waarneming. Deze hypothetisch-deductivistische visie van Popper is echter ook op zijn beurt weer onderwerp van grondige kritiek geweest (zie bijvoorbeeld Lakatos, 1978).

Wat nu in het kader van onze didactische problematiek te snel vergeten wordt, is dat in de beschreven wetenschapsfilosofie onderscheid gemaakt wordt tussen een ontdekkingscontext en een rechtvaardigingscontext. De

wetenschapsfilosoof beschreef niet hoe kennis tot stand komt, maar hoe deze achteraf te rechtvaardigen valt als 'zekere' of 'ware' kennis. De beschreven methodologie is daarop gericht en is dus ook geen 'zekere' methode voor hoe je tot kennis kunt komen. Zij rechtvaardigt het product van de groep en geeft daarin de voortgang aan, maar zegt niets over het ontdekkingsproces van de individuele onderzoeker.

Overigens wordt dit contextenonderscheid tegenwoordig niet vaak meer gemaakt, omdat vanaf het werk van Kuhn, dit niet meer streng te handhaven bleek. Kuhn (1962) komt op basis van historische studies over wetenschapsontwikkeling tot een heel ander beeld van wetenschappelijke vooruitgang. Perioden van wetenschappelijke revoluties zouden elkaar afwisselen met perioden van normale wetenschap. Het bedrijven van normale wetenschap is volgens Kuhn dan het beste te vergelijken met het oplossen van puzzels binnen de contouren van het dan heersende paradigma (vgl. Chalmers, 1997, p.117). Het belangrijke van Kuhn is dat hij aangaf dat in de rechtvaardiging van kennis niet alleen logische maar ook psychologische motieven een rol spelen. En daarmee viel het beeld van de rationele wetenschappelijke methode als middel tot lineaire voortgang van kennis weg. Iemand als Feyerabend gaat daarin overigens nog veel verder. Er bestaan in de optiek van Feyerabend geen regels die wetenschapsbeoefenaren vertellen wat ze moeten doen om tot kennis te komen. In dat verband kan alles: 'Anything goes' (Feyerabend, 1970).

In het licht hiervan kunnen we ons ook afvragen of, en zo ja in hoeverre, het professionele doen en laten van een wetenschapsbeoefenaar zich nu onderscheidt van dat van de niet-wetenschapsbeoefenaar. Als dat onderscheid niet meer bestaat uit het kunnen hanteren van een wetenschappelijke methode, wat bedoelen we dan nog met 'onderzoeksvaardigheden'? Is dit dan iets anders dan vaardigheid hebben opgedaan met het doen van onderzoek? En in welke zin onderscheidt dit zich dan nog van met 'gezond verstand' intentioneel nadenken en handelen?

In dit verband is het belangrijk om de aandacht te vestigen op het belang van wat wel wordt aangeduid als een 'wetenschappelijke houding', iets wat in didactische vaardigheidsdiscussies teveel onderbelicht blijft. Deelnemers aan het wetenschappelijk bedrijf hanteren, idealiter, een aantal impliciete normen, waarvan de voor ons doel belangrijkste meestal worden omschreven als 'disinterestedness' en 'organised scepticism' (zie bijv. Lijnse, 1985). Hiermee wordt zoiets bedoeld als 'belangeloze intellectuele eerlijkheid' als norm voor de onderzoeker, die wordt bewaakt door georganiseerde wederzijdse kritiek. Ieder dient zich bij iedere wetenschappelijke bewering, van zichzelf of anderen, voortdurend af te vragen of die, in het licht van de beschikbare evidentie, wel correct is. Ofwel, de kritische wetenschappelijke houding, waartoe ook behoort het 'opschorten van je oordeel' als je nog onvoldoende geïnformeerd bent.

Als we nu nagaan hoe in de didactiek het idee van de wetenschappelijke methode wordt gehanteerd, dan zien we dat daarin vaak een impliciete contextwisseling heeft plaatsgevonden. De methodische voortgang, die als rechtvaardigingsschema achteraf was geformuleerd, wordt dan gebruikt als ontdekkingsvoorschrift. Dat wil zeggen tot methodisch voorschrift volgens welke onderzoek moet plaatsvinden en dan ook nog op individueel niveau, of, an-

ders gezegd, tot het 'kunnen hanteren van de wetenschappelijke methode'. Daarmee is ook de aandacht voor de kritische houding achter de horizon verdwenen. Uit het voorgaande moeten we echter de conclusie trekken dat een eenduidige methodiek voor het beoefenen van wetenschap niet bestaat, en als zodanig dus ook niet valt te onderwijzen. Didactische pogingen om zo'n methodiek toch te verwerken, bijvoorbeeld in practicumvoorschriften, zijn dan ook meestal te stereotiep. Bovendien, wat vaak in leerboeken wordt gepresenteerd als 'de wetenschappelijke methode' (zie bijvoorbeeld Hogenbirk e.a., 1994) is niet zozeer een methodologisch voorschrift, als wel een oplossingsheuristiek voor een verstandige aanpak van een onderzoeksprobleem. Ofwel, daarmee verlaten we het domein van de wetenschapsfilosofie als didactische inspiratiebron, en gaan over naar de onderwijspsychologie van het leren onderzoeken.

4. Het onderwijzen van wetenschappelijke processen

In de onderwijspsychologie zijn de laatste decennia diverse pogingen gedaan om op basis van een leertheorie het onderwijzen van wetenschappelijke processen vorm te geven. In deze paragraaf worden enkele van deze pogingen verkend.

Leren onderzoeken en wetenschappelijke processen

Voor onze thematiek is de methode Science - A Process Approach (S-APA), in eerste instantie bedoeld voor het primaire onderwijs (5 - 12 jaar), van belang. Hierover schreef de psycholoog Gagné als volgt: "this project rejects the 'content approach' idea of learning highly specific facts or principles of any particular science or set of sciences. It substitutes the notion of having children learn generalisable process skills which are behaviorally specific, but which carry the promise of broad transferability across many subject matters." (Science, A Process Approach, 1968). Sindsdien is de discussie of het in het onderwijs in eerste instantie gaat om het leren van kennis of om (denk)vaardigheden niet meer weg geweest. Deze 'generalisable process skills' werden door Gagné ontleend aan een behavioristische analyse van wetenschappelijk handelen.

Er worden zogenaamde 'basic processes' onderscheiden en 'integrated processes'. 'Experimenting' als 'integrated process' wordt gezien als 'the process that encompasses all of the basic and integrated processes' (American Association for the Advancement of Science, 1968, pg. 211). Zoals in het traditionele onderwijs vakinhouden systematisch onderwezen worden, zo worden in S-APA processen systematisch onderwezen. Deze benadering van S-APA kan gezien worden als een leerpsychologische interpretatie van het positivistische standaardbeeld in termen van deelprocessen. In huidige termen zouden we het leren uitvoeren van deze processen, kunnen opvatten als het leren van onderzoeksvaardigheden (zie tabel 1).

Tabel 1. Wetenschappelijke deelprocessen volgens S-APA

Basic processes	Integrated processes
Observing	Formulating Hypotheses
Using Space/Time relationships	Defining Operationally
Classifying	Controlling Variables
Using Numbers	Interpreting Data
Measuring	Experimenting
Communicating	
Predicting	
Inferring	

Deze 'proces' benadering heeft, niet alleen in Amerika, maar ook in Engeland veel invloed gehad (Millar, 1991). In feite is de huidige nadruk op 'onderzoeksvaardigheden' (en andere algemene vaardigheden) in ons land ook grotendeels hierop terug te voeren, zij het dat de puur behavioristische onderbouwing inmiddels plaats heeft moeten maken voor een meer cognitivistische.

De hierboven beschreven opvatting over het onderwijzen van wetenschappelijke activiteiten, als operationalisering van wetenschappelijk werken, heeft overigens vanuit kennistheoretische en pedagogische hoek ook flinke kritiek gekregen (Millar & Driver, 1987; Finlay, 1983; Hodson, 1990). Zo zeggen, bijvoorbeeld, Millar en Driver (1987) dat vanwege de 'situatedness' van leerprocessen 'a pedagogy which focusses primarily on the learning of processes may be fundamentally misguided'. In feite komen zij tot de conclusie dat bovengenoemde algemene processen niet alleen grotendeels niet kunnen, maar ook niet hoeven te worden onderwezen, omdat ze vanaf de kindertijd bij iedereen aanwezig zijn en zich in het dagelijks leven vanzelf ontwikkelen. Waar het om gaat is om deze processen juist in een nieuwe wetenschappelijke context, d.w.z. met nieuwe wetenschappelijke begrippen en normen, te kunnen gebruiken (Millar & Driver, 1987). De mate waarin leerlingen hierin slagen hangt in sterke mate af van de omvang van en vertrouwdheid met die kennis en context (Lock, 1990). Lijnse (1994) merkt over dit soort algemene vaardigheden op dat het niet gaat om het verwerven ervan, maar om het leren inzetten en ontwikkelen ervan in steeds meer en complexere contexten met steeds meer en complexere kennis. De kern van de didactische problematiek komt dan niet te liggen op het leren van nieuwe vaardigheden, maar om leerlingen er toe te brengen om datgene wat ze in principe al kunnen ook te *willen* inzetten en uitbreiden in nieuwe situaties, en dan ook nog met voldoende kwaliteit (Klaassen, 1995). Bij dit 'inzetten met kwaliteit' gaat het er bijvoorbeeld niet om om 'hypothesen te leren formuleren' (want dat kunnen leerlingen in principe al), maar om te leren wat het inhoudt om in een onderzoekscontext, qua inhoud en doel, een *wetenschappelijke* hypothese te formuleren

Onderzoeken als probleemoplossen

In Gagné's behavioristische hiërarchie van leerprocessen werd 'probleemoplossen' gezien als de meest complexe vorm van leren, zonder dat dit overigens werd geanalyseerd in onderliggende denkprocessen. In de daarop volgende cognitivistische benadering kwam hier echter juist wel de aandacht op te liggen. In veel 'problem solving literatuur' wordt een probleem gedefinieerd

als een taak, waarvoor niet onmiddellijk het antwoord beschikbaar is en waarvoor niet een methode beschikbaar is om het antwoord te vinden (Kramers-Pals, 1994; Taconis, 1995; Gott & Duggan, 1995). Dit is een persoons- en tijdsgebonden definitie: of een opdracht in deze zin een probleem is of niet, hangt af van zowel de inhoud als van de capaciteiten van de oplosser op dat moment (Taconis & Ferguson-Hessler, 1994). Om het proces van probleemoplossen op hoofdlijnen te reguleren wordt vaak gebruik gemaakt van heuristieken zoals SPA (Systematische Probleem Aanpak; Hondebrink, 1994), die in tabel 2 in zijn meest eenvoudige vorm is weergegeven.

Fase 1: Wat is er aan de hand? (Analyse)
Fase 2: Hoe ga ik het aanpakken? (Plan)
Fase 3: Wat is het antwoord? (Uitwerking)
Fase 4: Kan dat kloppen? (Controle/Commentaar)

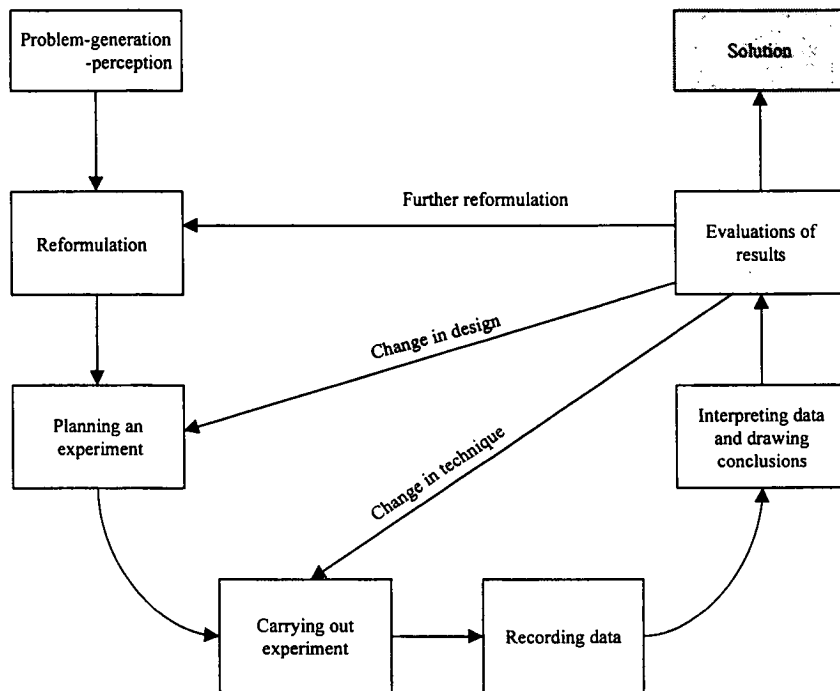
Tabel 2: de SPA-heuristiek.

Een dergelijke heuristiek wordt ook vaak weergegeven in de vorm van een stroomdiagram, waarin wordt aangegeven hoe de fasen van het probleemoplossingstraject - beginnend met de analyse van de probleemstelling, en eindigend met het controleren van de oplossing - idealiter worden doorlopen, al dan niet met terugkoppelingen naar eerdere fasen. Het gaat echter altijd om een geïdealiseerde heuristiek: de werkelijkheid is nu eenmaal veel grilliger (zie bijvoorbeeld Watson, 1994). Kirschner (1991, p.54-55) beschrijft nog enkele andere voorbeelden van probleemoplossingsheuristieken.

Ook het doen van onderzoek kan uiteraard worden opgevat als het oplossen van een probleem. Voor leerlingonderzoek als een vorm van probleemoplossen zijn dan ook schema's uitgewerkt, die verwant zijn aan SPA-heuristieken. In figuur 1 is daarvan een voorbeeld weergegeven. Dit zogenaamde Assessment of Performance Unit model heeft als voorbeeld gediend voor de 'investigations' in het Engelse science-onderwijs (d.w.z. dit model is ontwikkeld in het kader van het APU-project, een omvangrijk evaluatieproject dat in de jaren '80 in Engeland is uitgevoerd). Andere voorbeelden zijn te vinden in Brouwers (1995), Van Haren e.a. (1986), Rotheram (1987), Screen (1986) en Johnsey (1986). Schema's als die van figuur 1 bieden een referentiekader voor de voortgang van een onderzoek, ook al geldt hiervoor uiteraard dezelfde kritiek dat in feite een geïdealiseerd proces wordt weergegeven. Desalniettemin kan het leerlingen (net als de SPA-heuristiek bij het oplossen van problemen) enig houvast bieden bij het plannen van onderzoeksactiviteiten. En het kan ook door de docent gebruikt worden bij de begeleiding (feedback) en de beoordeling (evaluatie) van het onderzoek.

Figuur 1. Het APU-model voor 'een onderzoek doen' in het Engelse science onderwijs. Van begin (problem generation) tot eind (solution) wordt een aantal fasen doorlopen, met terugkoppelingen naar eerdere fasen.

Het APU model



Zoals gezegd wordt in veel literatuur over leerlingonderzoek het leren onderzoeken beschreven in termen van onderzoeksvaardigheden. Dit komt er meestal op neer dat de stappen die in een onderzoeksproces moeten worden gezet, geformuleerd worden als concrete (denk-)handelingen die leerlingen geacht worden te kunnen uitvoeren bij het doorlopen van een (natuurwetenschappelijk) onderzoek. Voorbeelden van zulke lijsten met onderzoeksvaardigheden zijn te vinden in Fuhrman e.a. (1978), Hellingman (1982), Budding e.a. (1992), Van Haren (1993), Feiner-Valkier (1993) en Van den Berg (1994). Hoewel dergelijke lijsten over het algemeen nogal kunnen verschillen qua detaillering, en vooral ook ten aanzien van de mate waarin metacognitieve vaardigheden daarin zijn opgenomen, vertonen ze een zekere gelijkenis in structurering (per onderzoeksfase) en intentie. Het probleem met het op deze wijze formuleren van vaardigheden is echter dat er geen verbinding gelegd wordt met de voor het doen van een onderzoek benodigde kennis.

Nu wordt in de onderwijspsychologische literatuur over probleemoplossen deze verbinding vaak gelegd door een onderscheid te maken tussen declaratieve, procedurele, situationele en strategische kennis (zie bijvoorbeeld

Ferguson-Hessler, 1989). Hoewel deze kennissoorten in algemene zin wel te definiëren zijn, en in eenvoudige situaties ook wel onderscheidbaar, zijn ze voor complexe onderwijsleeractiviteiten *didactisch* vaak niet goed hanteerbaar. Juist vanwege hun algemene karakter geeft het hanteren van deze kenniskarakterisering nog weinig concrete aanwijzingen ten aanzien van een voor leerlingonderzoek te hanteren didactiek. Daarvoor is deze kenniskarakterisering op zichzelf nog niet onderzoeksspecifiek genoeg. Zo wordt, bijvoorbeeld, de term procedurele kennis door Taconis (1995) omschreven als 'how to use declarative knowledge', terwijl Boekaerts en Simons (1993) hieronder ook het gebruik van heuristieken verstaan. Dit laatste zou, naar onze indruk, door Taconis en Ferguson-Hessler strategische kennis worden genoemd. Hoe dit ook zij, in ieder geval zijn deze karakterisering niet specifiek gericht op een karakterisering van de voor een onderzoeksproces relevante kennis.

Nu is het vinden van een meer specifieke beschrijving van de relatie tussen (soorten) kennis en vaardigheden die in het doen van onderzoek een rol spelen ook niet eenvoudig. Immers: 'Doing science is more of a craft activity, relying more on craft skill and tacit knowledge than on the conscious application of explicit knowledge' (Woolnough, 1989, p.117). Dit betekent dat, vanwege deze 'tacit knowledge', voor het leren onderzoeken, altijd persoonlijke ervaring met (en reflectie op) het doen van onderzoek nodig zal zijn, omdat dit nooit voldoende te vatten zal zijn in formuleerbare kennis en vaardigheden, die als zodanig onderwijsbaar zijn. Juist ook vanwege de aan te leren 'kritische houding' ten aanzien van het eigen onderzoeksmatige handelen. Desalniettemin is het zaak te proberen hierin zover mogelijk te komen. Een meer inhoudelijke uitwerking, zoals in het PACKS-project is uitgevoerd, lijkt ons hierin een belangrijke stap te zetten..

5. De PACKS-benadering

Doel van het PACKS (Procedural and Conceptual Knowledge in Science) project was om inzicht te verwerven in de wijze waarop leerlingen onderzoek doen, en hoe dit beter onderwijsbaar zou kunnen zijn. Daartoe is een model voor leerlingonderzoek ontwikkeld, dat preciser probeert aan te geven welke inhoudelijke kennis in bepaalde fasen van het onderzoeksproces wordt gebruikt (zie Millar, 1998; Millar e.a., 1994). Daartoe onderscheiden ze 'declarative knowledge of science concepts' en 'procedural knowledge of scientific investigations'. Millar e.a. (1994, p.218) merken over deze laatste categorie op: 'The challenge [...] is to find a satisfactory way to characterize and to talk about procedural knowledge, which will apply equally to all the investigation tasks. [...] This, however, is far from simple. There is no agreed terminology for discussing procedural knowledge in science; terms such as skills, processes, process skills and others have been used, often interchangeably'. Deze terminologie roept opnieuw enige verwarring op met de voorgaande psychologische karakterisering, omdat ze daarmee niet precies overeen stemt. Uitgangspunt voor de kenniskarakterisering in het PACKS-project is een inhoudelijke analyse van het doen van onderzoek. Daarin speelt immers het kennen en kunnen gebruiken (het begrijpen) van natuurwetenschappelijke concepten een rol ('declarative knowledge' in hun terminologie), alsmede het kennen en kunnen gebruiken van onderzoeksprocedures ('procedural knowledge'). Vandaar dat we hier, vanuit didactisch standpunt gezien, de voorkeur aan geven, te meer daar juist de verdere analyse van deze procedurele kennis, naar ons

idee, tot vruchtbare didactische inzichten heeft geleid. Het PACKS-project heeft deze procedurele kennis uiteindelijk onderscheiden in de volgende categorieën (zie figuur 2):

A. Frame.

Bij het 'frame' gaat het om de manier waarop de aard en het doel van het onderzoek worden opgevat, zoals die blijkt uit hun aanpak. Leerlingen kiezen bij hun onderzoek, bijvoorbeeld, vaak een 'engineering approach' (ze proberen het effect van variabelen te optimaliseren) waar een 'scientific approach' gewenst zou zijn (het verhelderen van de relaties tussen variabelen). Naast deze twee 'frames' worden ook nog het 'modelling frame' (een voorwerp maken of een fenomeen laten plaatsvinden) en het 'engagement frame' (het manipuleren van de apparatuur zonder een duidelijk doel) onderscheiden.

C. Manipulative skills.

Deze bekende categorie omvat het kunnen gebruiken van instrumenten en apparaten en het kunnen uitvoeren van standaard meetprocedures. Deze vaardigheden kunnen worden aangeleerd door 'drill and practice'.

D. Understanding of empirical evidence.

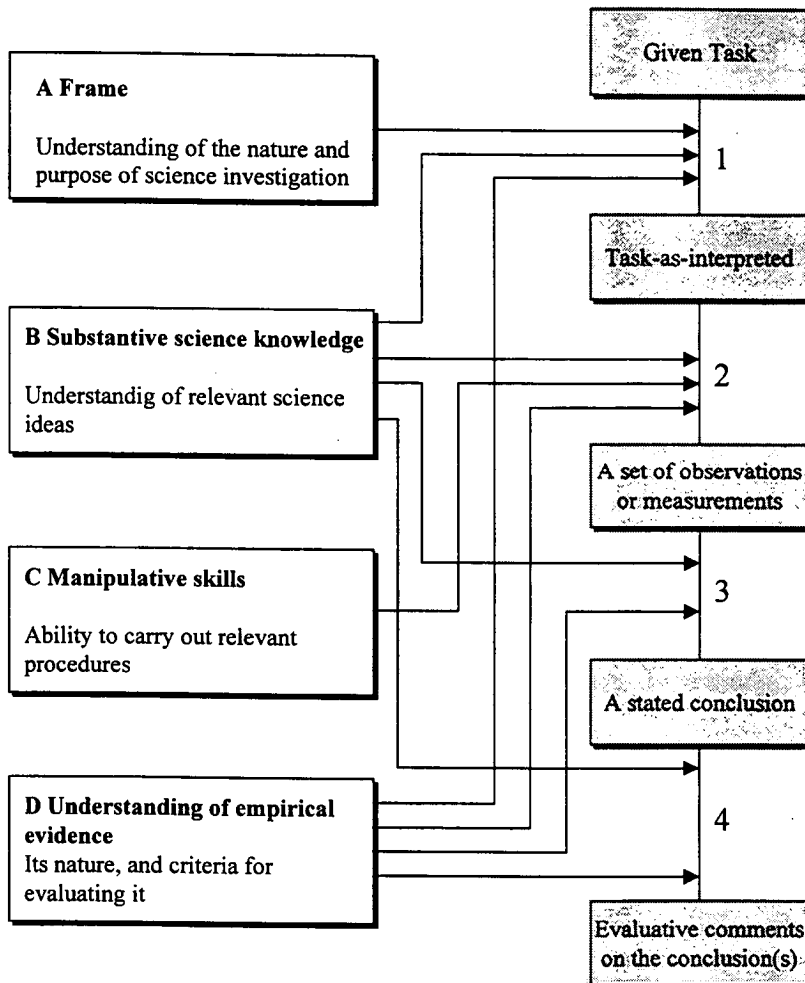
Deze categorie verwijst naar het begrijpen van criteria waarmee de kwaliteit van empirisch verkregen bewijsmateriaal (meetuitkomsten, beschrijvingen) kan worden geëvalueerd en getoetst. Deze categorie is nauw verwant aan begrippen als validiteit en betrouwbaarheid van onderzoek en wordt verderop uitgewerkt. Het belang van deze laatste categorie voor leerlingonderzoek wordt door Millar e.a. (1994) als volgt onder woorden gebracht: "We believe that this third category of understanding [understanding of evidence] plays a crucial role in determining the quality of children's investigation performance, but that its importance is insufficiently recognized. (...) The understanding of two overarching concepts, however, appears to be crucial to performance on investigation tasks: the ideas of reliability of an observation or measurement, and of validity of a set of observations or measurements in relation to the purpose of the investigation task." (Millar e.a., 1994; pg. 219). Hierin herkennen we dus ook een (gedeeltelijke) operationalisering van de 'wetenschappelijke houding', d.w.z. het jezelf voortdurend de vraag stellen in hoeverre datgene wat je doet te verantwoorden is als het best mogelijke in de gegeven omstandigheden.

In figuur 2 is de PACKS-benadering weergegeven. Het rechter deel van het model correspondeert met het eerder beschreven APU-model voor onderzoek (figuur 1). Het verschil met het APU-model betreft de representatie van het onderzoeksproces: gekozen is voor het weergeven van tastbare 'eindproducten' per fase, in plaats van de fasen zelf. Deze zijn in het model te herkennen als de stappen 1 t/m 4 tussen de vijf stadia van het onderzoek: 'Given Task', 'Task-as-interpreted', 'A set of observations or measurements', 'A stated conclusion', en 'Evaluative comments on the conclusion(s)'. Het linker deel van het schema visualiseert de vier categorieën van kennis/vaardigheden en inzicht - A) Frame; B) Substantive science knowledge; C) Manipulative skills en D) Understanding of empirical evidence. Verder is aangegeven op welke van de vier fasen in het onderzoeksproces ze inwerken, en daarmee wordt de

verbinding van inhoudelijke kennis en procedurele vaardigheden explicieter gemaakt.

Dat de categorieën B en D invloed hebben op elke stap in het onderzoeksproces spreekt voor zich. Dat gebeurt echter wel steeds op verschillende manieren, passend bij de aard van de stap in kwestie. De invloed van categorie A vinden we met name terug bij stap 1 (maar heeft wel z'n invloed op het verdere verloop van het onderzoek) en categorie C is relevant in stap 2. De categorieën 'substantive science knowledge' en 'manipulative skills' spreken voor zich. De categorie 'understanding of empirical evidence' wordt hieronder nader toegelicht.

Figuur 2. Het PACKS-model



6. Criteria voor onderzoek met kwaliteit

In navolging van Millar e.a. zijn ook wij van mening dat met name de categorie 'understanding of empirical evidence' enerzijds cruciaal is voor wat je 'leren natuurwetenschappelijk onderzoeken' kunt noemen en anderzijds in de didactiek daarvan veelal onderbelicht blijft. Vandaar dat we hier verder op ingaan. In het PACKS-model wordt deze categorie omschreven als 'understanding of criteria for assessing and evaluating the quality of empirical evidence' (Millar e.a., 1994, p.218). Of, anders gezegd, de kwaliteit van een onderzoek, waarbij de conclusie gebaseerd is op empirisch verkregen gegevens, hangt nauw samen met de mate waarin aandacht is besteed aan twee centrale begrippen: *validiteit* en *betrouwbaarheid*. Het begrip validiteit ('valide' betekent 'van waarde') heeft te maken met de geldigheid die het onderzoek heeft in relatie tot de onderzoeksvraag: komt het onderzoek overeen met datgene waarover een uitspraak wordt gedaan. Is gemeten wat beoogd werd? (Baarda & De Goede, 1990; Tromp & Rietmeijer, 1989). Het begrip betrouwbaarheid betekent in onderzoekstermen: geeft de meting onder dezelfde condities steeds dezelfde uitslag (reproduceerbaarheid)? En binnen welke grenzen dan wel (nauwkeurigheid)?

Op zich zijn deze begrippen uiteraard niet echt nieuw. In feite zijn elementen hiervan vaak, in de een of andere vorm, herkenbaar in de eerder genoemde vaardigheidslijsten. Het kenmerk daarvan is echter dat ze, door docenten, dan veelal gebruikt worden als beoordelingslijsten, terwijl de vraag naar een didactiek nu juist inhoudt hoe leerlingen te brengen tot het inzichtelijk hanteren van deze begrippen.

Daartoe hebben Gott & Duggan (1995) een zinvolle poging gedaan door voor de verschillende onderzoeksfasen 'concepts of evidence' te definiëren, die leerlingen niet alleen zouden moeten kennen, maar waarvan ze ook het belang zouden moeten leren inzien om de betreffende onderzoeksfase met voldoende kwaliteit te kunnen uitvoeren. Ter illustratie geven we hiervan enkele voorbeelden.

Concepts of evidence

1. Associated with design

Variable identification Understanding the idea of a variable and identifying the relevant variable to change (the independent variable) and to measure, or assess if qualitative (the dependent variable).

Fair test Understanding the structure of the fair test in terms of controlling the necessary variables and its importance in relation to the validity of any resulting evidence.

.....

2. Associated with measurement

.....

Choice of instrument Understanding the relationship between the choice of instrument and the required scale, range of readings required, and their internal (spread) and accuracy.

Repeatability	Understanding that the inherent variability in any physical measurement requires a consideration of the needs for repeats, if necessary, to give reliable data.
Accuracy	Understanding the appropriate degree of accuracy that is required to provide reliable data which will allow a meaningful interpretation.

3. Associated with data handling

Graph type	Understanding that there is a close link between graphical representations and the type of variable they are to represent.
Patterns	Understanding that patterns represent behaviour of variables and that they can be seen in tables and graphs.

4. Associated with the evaluation of the complete task

Reliability	Understanding the implications of the measurement strategy for the reliability of the resulting data; can the data be believed?
Validity	Understanding the implications of the design for the validity of the resulting data; an overall view of the task to check that it can answer the question.

Uit deze voorbeelden blijkt duidelijk dat er zowel sprake is van cognitieve, als van metacognitieve componenten. Uiteindelijk gaat het er natuurlijk om om leerlingen te brengen tot een voortdurende kritische reflectie op de kwaliteit van hun eigen werk, als kenmerk van 'onderzoek doen'. Daarvoor is procedurele onderzoekskennis nodig, maar vooral juist ook de eerder genoemde 'wetenschappelijke houding'. De vraag wordt dan hoe dit op leerlingniveau vorm te geven, op een voor docenten en leerlingen hanteerbare manier. Het onderzoek van Smits (2001) richt zich juist op deze vraag. Daartoe heeft hij, bijvoorbeeld, bovenstaande 'concepts of evidence', omgewerkt tot een lijst van reflectievragen voor onderbouwleerlingen, die zij bij het uitvoeren van hun onderzoek kunnen gebruiken.

Vorbereiding

1. Is je onderzoeksvraag duidelijk geformuleerd?
2. Heb je alle begrippen in de onderzoeksvraag duidelijk omschreven?
3. Welke variabele ga je variëren en welke ga je meten? Welke variabelen moeten constant worden gehouden?
4. Is het meetinstrument dat je wilt gebruiken wel geschikt voor wat je wilt meten?
5. Is de opstelling die je wilt gebruiken wel geschikt voor wat je wilt meten?

Uitvoering

6. Zijn de metingen die je gedaan hebt herhaalbaar? En komt er dan ongeveer hetzelfde uit?

7. Heb je je metingen een paar keer herhaald voor het bepalen van het gemiddelde?

Afsluiting

8. Heb je het goede type grafiek gekozen?
9. Heb je de goede conclusie getrokken?
10. Heb je aangegeven binnen welk gebied je onderzoeksresultaten geldig zijn?

Evaluatie

11. Hoe zeker ben je van het antwoord op je onderzoeksvraag? Hoe betrouwbaar is dat?

Over de vraag of leerlingen hiermee hebben kunnen werken en of dit inderdaad geleid heeft tot een betere kwaliteit van hun onderzoeken, alsmede over de vraag wat aandacht voor deze kwaliteit betekent voor het didactisch denken en handelen van docenten, zal later worden gerapporteerd (Smits, 2001). Wel kan nu al gezegd worden dat het leren hanteren van zulke, op het eerste gezicht toch vrij eenvoudige reflectievragen, zowel voor leerlingen als docenten niet eenvoudig is gebleken. Zeker voor docenten vraagt het toch een behoorlijke omschakeling in hun denken.

7. Samenvatting

Tot slot willen we ons betoog, dat grotendeels gebaseerd is op een verkenning van de literatuur, in zijn essenties kort samenvatten.

- Het laten uitvoeren van onderzoek door leerlingen dient, in tegenstelling tot 'standaard' practicum, vooral gericht te zijn op het aanleren en gebruiken van kennis en vaardigheden die te maken hebben met de manier waarop binnen de natuurwetenschappen tot kennis wordt gekomen.

- Aan de wetenschapsfilosofie is geen eenduidige methode te ontleen die model kan staan voor het didactisch vormgeven van leerlingonderzoek. Wel geeft deze filosofie inzicht in belangrijke redeneerwijzen die in onderzoek doen een rol spelen. Een psychologische analyse van de wijze waarop onderzoekers onderzoek doen geeft verder inzicht in wetenschappelijk denkprocessen. Ook dit inzicht is echter didactisch nog onvoldoende hanteerbaar. Dit geldt ook voor probleemoplossingsbenadering van onderzoek doen

- In het PACKS project heeft een verdere uitwerking plaatsgevonden van de soorten kennis die een rol spelen bij het doen van onderzoek. Een belangrijke kenniscategorie daarbij is kennis van en inzicht in de validiteit en betrouwbaarheid van onderzoek doen. Deze categorie dient daarom een centrale plaats in te nemen in een didactiek voor leren onderzoeken. Het is met name deze categorie die een middel biedt om bij leerlingen de noodzakelijke houding van kritische distantie en reflectie t.a.v. het eigen onderzoeksmatige handelen te ontwikkelen. Het is ook deze categorie die in de gebruikelijke discussie over onderzoeksvaardigheden te weinig aandacht krijgt. Vandaar dat wij er hier voor willen pleiten om daarin verandering te brengen. Daarvoor zal dan echter eerst meer ervaring moeten worden opgedaan met de manier waarop dit didactisch goed kan worden vorm gegeven.

Literatuur

- American Association for the Advancement of Science (1968). *Science - A Process Approach: Commentary for Teachers*.
- Baarda, D. & de Goede, M. (1995). *Basisboek methoden en technieken*. Houten: Educatieve Partners Nederland.
- Ballas, J. & Kielborn, T. (1997). *Teachers' immersion in authentic scientific research*. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Oak Brook, Illinois, March 20-24, 1997.
- Beatty, J. & Woolnough, B. (1982). Practical work in 11-13 science: The context, type and aims of current practice. *British Educational Research Journal*, 8 (1), 23 -31.
- Berg, E. van den (1994). Practicum: Wonderolie voor het leren van natuurkunde? In H. Eijkelhof e.a. (red.): *Practica: Verslag Woudschoten Conferentie 1994*. Utrecht: Werkgroep Natuurkunde-Didactiek.
- Berg, E. van den & Giddings, G. (1992). *Teaching in the laboratory: An alternative view*. Perth: Science and Mathematics Education Centre, Curtin University of Technology.
- Boekaerts, M. & Simons, P. (1993). *Leren en instructie*. Assen: Dekker & van de Vegt.
- Boud, D., Dunn, J. & Hegarty-Hazel, E. (1989). *Teaching in laboratories*. Philadelphia: Open University Press.
- Brouwers, T. (red.) (1995). *Natuur- en scheikunde in de basisvorming: een praktische uitwerking in lesvoorbeelden*. Zutphen: Thieme.
- Budding, F., Hellingman, K, Holl, E. & Jong, J. de (1992). De beoordeling van open onderzoek in de natuurkunde. *NVON-maandblad*, 16 (8), 324-330.
- Chalmers, A. (1997). *Wat heet wetenschap?* Meppel: Boom.
- Dekkers, P. (1997). *Making productive use of student conceptions in physics education*. Dissertatie. Amsterdam: VU.
- Donnelly, J. (1998). The place of the laboratory in secondary science teaching. *International Journal of Science Education* 20 (5), 585-596.
- Feiner-Valkier, S. (1993). *Een programma van experimenten*. Enschede: SLO.
- Ferguson-Hessler, M.G.M. (1989). *Over kennis en kunde in de fysica*. Proefschrift. Eindhoven: TU.
- Feyerabend, P. (1970). *Against Method*. London: Verso.
- Finlay, F. (1983). Science Processes. *Journal of Research in Science Teaching* 20 (1), 47-54.
- Fuhrman, M., Lunetta, V., Novick, S. & Tamir, P. (1978). *Technical Report 14: The Laboratory Structure and Task Analysis Inventory (LAI): A Users' Handbook*. Iowa: The University of Iowa.
- Gilmer, P. (1997). *Teachers Learning Science by Doing Science*. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Oak Brook, Illinois, March 20-24, 1997.
- 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.
- Haren, R. van, Lackamp, J.W., Pollmann, A. & Smits, T. (1986). Handleiding voor open experimenteel onderzoek. *NVON-maandblad*, 12 (1), 33-35.

- Hellingman, C. (1982). A Trial List of Experimental Work in Science Education. *International Journal of Science Education*, 4 (1), 29-43.
- Hodson, D. (1985). Philosophy of science, science and science education. *Studies in Science Education* 12, 25-57.
- Hodson, D. (1990). A critical look at practical work in scienc. *School Science Review*, 73 (264), 65-77.
- Hodson, D. (1992). Redefining and reorienting practical work in school science. *School Science Review*, 73 (264), 65-77.
- Hogenbirk, P., Jager, J., Kabel-van den Brand, M. & Walstra, K. (1994). Natuur- en scheikunde Overal 2mHV. Houten: Educaboek.
- Hondebrink, J. (1994). Spa in de praktijk. *NVOX* 19 (10), 475-477.
- Johnsey, R. (1986). *Problem solving in school science*. London: Macdonald Educational.
- Kirschner, P. (1991). *Practicals in higher science education*. Dissertatie. Utrecht: Lemma b.v.
- Klaassen, C.W.J.M. (1995). *A problem posing approach to the teaching of radioactivity*. Utrecht: CD-Beta Press.
- Kramers-Pals, H. (1994). *Leren oplossen van verklaringsproblemen in het scheikunde-onderwijs*. Proefschrift. Enschede: Universiteit Twente.
- Koningsveld, H. (1993). *Het verschijnen wetenschap: een inleiding tot de wetenschapsfilosofie*. Meppel: Boom.
- Kuhn, T. (1962). *The structure of scientific revolutions*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Kuiper, W. (1993). *Curriculumvernieuwing en lespraktijk: een beschrijvend onderzoek op het terrein van de natuurwetenschappelijke vakken in het perspectief van de basisvorming*. Dissertatie. Enschede: Universiteit Twente.
- Lakatos, I. (1978). *The methodology of scientific research programmes*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lazarowitz, R. & Tamir, P. (1994). Research on using laboratory instruction in science. In D. Gabel (Ed.): *Handbook of research on science teaching and learning*. New York: MacMillan.
- Lijnse P.L. (1985). Zijn natuurkundigen anders? *Tijdschrift voor Didactiek der Beta-Wetenschappen*, 3, 3-25.
- Lijnse, P.L. (1994). Probleemoplossen en algemene vaardigheden: een poging tot discussie. *Tijdschrift voor Didactiek der Beta-Wetenschappen*, 12 (3), 246-260.
- Lock, R. (1988). A history of practical work in school science and its assessment, 1860-1986. *School Science Review*, 70 (250), 115-119.
- Lock, R. (1990). Open-ended, problem-solving investigations: What do we mean and how can we use them? *School Science Review*, 71 (256), 63.
- Lubben, F. & R. Millar (1996). Children's ideas about the reliability of experimental data. *International Journal of Science Education*, 18 (8), p.955-968.
- Lunetta, V. (1998). The school science laboratory: historical perspectives and contexts for contemporary teaching. In B.Fraser & K Tobin. (eds.): *International handbook of science education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Millar, R. (1991). A means to an end: the role of processes in science education. In B. Woolnough (ed.): *Practical Science: The role and reality of practical work in school science*. Buckingham: Open University Press.

- Millar, R. (1994). The development of practical work in the National Curriculum in England and Wales. In H. Eijkelfhof e.a. (red.): *Practica: Verslag Woudschoten Conferentie 1994*. Utrecht: Werkgroep Natuurkunde-Didactiek.
- Millar, R. (1998). Students' understanding of the procedures of scientific enquiry. In A. Tiberghien e.a. (Ed.): *Connecting research in physics education with teacher education*. ICPE Book.
- Millar, R. & Osborne, J. (1999). *Beyond 2000: Science education for the future*. London: KCL.
- Millar, R. & Driver, R. (1987). Beyond processes. *Studies in Science Education*, 14, 33-62.
- Nott, M. (1996). When the black box springs open: practical work in schools and the nature of science. *International Journal of Science Education*, 18 (7), 807-818.
- Popper, K.R. (1934) *Logik der Forschung*. Gepubliceerd in het Engels (1959) als *The Logic of Scientific Discovery*. London: Hutchinson.
- Rotheram, K. (1987). Guided investigation. *School Science Review*, june 1987, 631-635.
- Schröder, J. (1975). *De functie van het practicum in de leerstofopbouw. Verslag van de vakantiecursus natuurkunde*. Groningen.
- Science, A Process Approach (1968). AAAS.
- Screen, P. (1986). The Warwick Process Science Project. *School Science Review*, 86 (232), 12-16.
- Smits, Th. (2001). Dissertatie (in voorbereiding).
- Stuurgroep Profiel Tweede Fase VO (1995). *Advies Examenprogramma's havo en vwo: Biologie, Natuurkunde, Scheikunde*. Enschede: SLO.
- Taconis, R. (1995). *Understanding based problem solving*. Dissertatie. Eindhoven: Technische Universiteit.
- Taconis, R. & Ferguson-Hessler, M. (1994). Het belang van probleemoplossen voor het onderwijs in technische en exacte vakken. *Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen*, 12 (3), 172-194.
- Tamir, P. (1989). Training teachers to teach effectively in the laboratory. *Science Education*, 73 (1), 59-69.
- Tromp, J. & E. Rietmeijer. (1989). *De aanpak van onderzoek*. Houten/Antwerpen: Bohn Stafleu Van Loghum.
- Watson, J. (1994). Students' engagement in practical problem solving: a case study. *International Journal of Science Education*, 16 (1), 27-43.
- Woolnough, B. (1976). Practical work in sixth-form physics. *Physics Education*, 11, 392.
- Woolnough, B. (1983). Exercises, investigations and experiences. *Physics Education*, 18, 60-63.
- Woolnough, B. (1989). Towards a holistic view of processes in science education. In J. Wellington (ed.): *Skills and processes in science education*. London & New York: Routledge.