

Leren onderzoeken en ontwerpen in het natuurwetenschappelijk onderwijs

Slotbeschouwing

Jan van Driel,
ICLON, Universiteit Leiden
Jan van den Akker,
Faculteit Toegepaste Onderwijskunde, Universiteit Twente

Alle bijdragen aan dit themanummer hebben betrekking op een actuele vernieuwing van het onderwijs in de bètavakken: het verwerven van kennis en vaardigheden op het gebied van onderzoeken en ontwerpen hoort met ingang van de Tweede Fase tot de eindtermen van HAVO en VWO. Uit verschillende bijdragen aan dit themanummer komt duidelijk naar voren dat deze verandering als een wezenlijke vernieuwing wordt ervaren door docenten. Het is verheugend te constateren dat op verschillende plekken en op uiteenlopende manieren getracht wordt om deze vernieuwing te concretiseren om zodoende de implementatie ervan te ondersteunen. De meeste bijdragen aan dit themanummer komen voort uit (ontwikkel)projecten die in het onderwijsveld, vaak in nauwe samenwerking met docenten, worden uitgevoerd. Het in dit verband uitgevoerde onderzoek is vooral bedoeld om het betreffende project te verdiepen en de kans op (vernieuwings)succes te vergroten. Bijdragen aan theorievorming op het gebied van de didactiek van de β -vakken is in de meeste gevallen geen expliciet doel van het onderzoek.

Zo hebben Van Tilburg en Verloop hun onderzoek verbonden met een project waarin het Cito met docenten een handleiding heeft ontwikkeld voor het begeleiden en (vooral) beoordelen van het Profielwerkstuk, dat een opvallend concreet element van de vernieuwing in de Tweede Fase vormt. Hiermee bevindt het onderzoek zich midden in de realiteit van het vernieuwingsproces. Dat heeft behalve voordelen ook nadelen. De onderzoekers worden geconfronteerd met allerlei beperkingen die vrijwel onvermijdelijk verbonden zijn met dit soort projecten. Hun onderzoeksdoel lijkt hierdoor wat verschoven naar de randvoorwaarden waar docenten tegen aanlopen, terwijl de 'diepere' cognities van docenten waarop het onderzoek primair gericht was, minder goed naar voren zijn gekomen.

Ook Van Rens en Dekkers bevinden zich met hun werk in het hart van ontwikkelingen die in de praktijk plaatsvinden. Zij hebben daarbij een vorm van samenwerking gerealiseerd tussen vakdocenten en opleiders/onderzoekers, die heel goed past bij inzichten over effectieve benaderingen van 'staff development' die de laatste tijd door onderzoekers worden gepropageerd (zie bijv. Thompson & Zeuli, 1999).

Pijls et al. ondernemen een poging om het leren onderzoeken binnen het vak wiskunde vorm en inhoud te geven. Onderzoek is binnen een vak dat geen traditie in experimenteel laboratoriumwerk kent natuurlijk van een andere

aard dan bij de overige bèta-vakken. In die zin is hier sprake van pionierswerk.

Van der Waal verdient veel waardering voor haar poging om de dimensie 'techniek' in het bèta-onderwijs gestalte te geven. Hoewel eindtermen op het gebied van de techniek en het technisch ontwerpen nadrukkelijk opduiken in het voortgezet onderwijs (zowel Basisvorming als Tweede Fase), is de invulling die hieraan wordt gegeven in schoolboeken en onderwijspraktijk voorsnog erg mager. Van der Waal pakt echter de handschoenen op door met docenten juist op dit gebied aan de slag te gaan.

In het licht van het bovenstaande is het duidelijk dat het meeste hier gepresenteerde werk nog in een beginfase verkeert. Dit geldt niet voor Smits et al. Hun onderzoek heeft betrekking op de invoering van leerlingonderzoek in het kader van het zogeheten Eigen eXperimenteel Onderzoek (EXO) waarmee bij natuurkunde al enige jaren ervaring bestaat. In feite kan dit EXO worden gezien als een studiehuis-element *avant la lettre*. In de bijdrage van Smits et al. aan dit themanummer komt dit echter niet zo naar voren, omdat zij hierin een theoretische beschouwing over leerlingonderzoek presenteren.

In de andere bijdragen is het prille stadium van het onderzoek echter duidelijk zichtbaar. Zo beschrijven Pijls et al. de resultaten van een bescheiden pilot-studie, waarin twee duo's leerlingen een tweetal onderzoeksopdrachten uitvoerden. In de komende tijd willen zij het leerproces dat optreedt bij het werken aan deze opdrachten beter bestuderen. Van Rens en Dekkers hebben de bestaande praktijk van enkele docenten op het gebied van 'leren onderzoeken' in beeld gebracht om vervolgens met hen samenwerkend enkele onderzoekspractica te ontwerpen. Zij kunnen nog niet veel meer dan een korte schets geven van de praktijkervaringen die met deze practica zijn opgedaan. Van Tilburg en Verloop schetsen de kennis en opvattingen van de 9 docenten bij de start van het project 'Handleiding Profielwerkstuk'. Zij gaan vervolgens de ontwikkeling in deze kennis en opvattingen bestuderen die zou moeten optreden onder invloed van deelname aan dit project. Hierover doen zij echter nog geen verslag in hun bijdrage aan dit themanummer. Van der Waal, tenslotte, heeft docenten geïnterviewd over hun kennis en opvattingen omtrent technisch ontwerpen, maar is nog niet toegekomen aan het ontwikkelen en het uittesten van ontwerp opdrachten in het onderwijs.

Omdat alle bijdragen aan dit themanummer gericht zijn op de eindtermen in de bèta-vakken voor wat betreft ontwerp- en onderzoeksvaardigheden (nrs. 28 t/m 34 resp. 35 t/m 43 uit domein A), is het interessant om na te gaan hoe deze eindtermen in de verschillende bijdragen zijn geïnterpreteerd. Afhankelijk van de visie die de auteurs zelf hebben op (leren) onderzoeken, komen hierin opvallende verschillen naar voren.

Van Tilburg en Verloop sluiten zich in hun opvatting van (leren) onderzoeken aan bij de internationale literatuur waarin onderzoeken wordt gezien als een "uit fasen bestaand proces" (oriëntatie, planning, uitvoering en verwerking) dat echter in de praktijk van een onderzoek niet altijd in deze volgorde wordt doorlopen. Deze algemene typering van onderzoek lijkt veel op die van Pijls et al. en komt in feite overeen met de vorm van tal van heuristieken die zijn voorgesteld voor het aanpakken van problemen van allerlei aard (vgl. OPUR: Oriëntatie, Planning, Uitvoering, Reflectie). Pijls et al. erkennen dit in

feite door hun opvatting van onderzoek bij Wiskunde A te baseren op probleemoplossen, in de zin van de inmiddels klassieke benadering van Polya. Bij hen ligt het accent meer op zelfstandig leren als (algemeen) onderwijsdoel van de Tweede Fase, waarbij samenwerken en computergebruik belangrijke middelen zijn. Zij hebben het over 'onderzoeksopdrachten', waarbij leerlingen zelf een probleem formuleren, een plan opstellen om dit probleem te onderzoeken, dit plan uitvoeren, de resultaten verwoorden en terugblikken. Met andere woorden: specifieke karakteristieken voor het (leren) uitvoeren van natuurwetenschappelijk of wiskundig onderzoek worden in deze twee bijdragen niet beschreven.

Van Rens en Dekkers sluiten zich aan bij de opvatting van (leren) onderzoeken die uit de eindtermen van de Tweede Fase naar de voren komt. Hierin wordt onderzoeken geoperationaliseerd als een verzameling vaardigheden, zoals een probleem herleiden tot een onderzoeksvraag, een hypothese opstellen, een werkplan maken, conclusies trekken, enzovoort. Hoewel zij opmerken dat deze opvatting wellicht geen goede afspiegeling vormt van de manier waarop 'echt' natuurwetenschappelijk onderzoek plaatsvindt, stellen Van Rens en Dekkers deze opvatting "vooralsnog" niet ter discussie. Zij vertrekken vanuit de huidige praktijk van docenten en verkennen van daaruit mogelijkheden en beperkingen om het 'leren onderzoeken' als onderwijsdoel te realiseren.

Genseberger et al. problematiseren de eindtermen van de Tweede Fase juist wel, waarbij zij vooral wijzen op de nadelen van een interpretatie van deze eindtermen die leidt tot het aanleren van (afzonderlijke) deelvaardigheden. Zij stellen dat de werkelijkheid van het natuurwetenschappelijk onderzoek zeer complex is, en in belangrijke mate bepaald wordt door factoren die niet voorkomen in de eindtermen op het gebied van onderzoeks(deel-) vaardigheden. Het gaat dan bijvoorbeeld om ethische zaken, de institutionele inbedding van onderzoek en allerlei contextuele variabelen. Vervolgens bepleiten de auteurs op grond van wat zij maatschappelijk wenselijk achten dat leerlingen in de Tweede Fase kennismaken met het "fenomeen wetenschappelijk onderzoek" waarbij het accent zou moeten liggen op het verwerven van een onderzoeksattitude, die bijvoorbeeld tot uiting moet komen in een zekere belangstelling en motivatie voor onderzoek alsmede het stellen van kritische vragen over de betekenis en de reikwijdte van specifieke onderzoeksresultaten.

De bijdrage van Smits et al. is voornamelijk gewijd aan opvattingen over natuurwetenschappelijk onderzoek en literatuur over hoe onderzoeken geleerd en onderwezen kan worden. Hierbij oriënteren de auteurs zich op de wetenschapsfilosofie en de (leer-) psychologie, om te constateren dat hierin betrekkelijk weinig bruikbare aanwijzingen gevonden worden voor de *didactiek* van leerlingonderzoek. Dergelijke aanwijzingen vinden de auteurs nog het meest in het PACKS-model (Procedural And Conceptual Knowledge in Science) van Robin Millar en medewerkers. Aantrekkelijk hierin vinden de auteurs de wijze waarop het begrijpen van natuurwetenschappelijke concepten wordt verbonden met het kennen en kunnen gebruiken van onderzoeksprocedures. Inderdaad moet het PACKS-model worden gezien als een verbetering ten opzichte van de nogal simplistische beschrijvingen van onderzoek als een reeks fasen die in een min of meer vaste volgorde doorlopen moeten worden. De keuze van Smits et al. om de begrippen 'validiteit' en 'betrouwbaarheid' veel aandacht te geven is, hoewel deze aannemelijk wordt gemaakt, enigszins

verrassend en roept de vraag op in hoeverre (het leren van) natuurwetenschappelijk onderzoek verschilt van (het leren van) sociaal-wetenschappelijk onderzoek, waarin deze begrippen van oudsher domineren.

Van der Waal geeft een beschrijving van ontwerpen en ontwerp onderwijs die vooral geënt is op ervaringen in het technisch universitair onderwijs. Ontwerpen wordt aan de hand van een stroomschema, dat is ontwikkeld door de Delftse ontwerpers Roozenburg en Eekels, door haar getypeerd als een proces dat via een aantal stappen verloopt, waarbij mogelijkheden tot iteratie zijn ingebouwd. Zij vergelijkt ontwerpen en onderzoeken, waarbij opvalt dat beide activiteiten vooral rationeel en min of meer lineair worden getypeerd. Daarmee wijkt Van der Waal af van de wat complexere benaderingen van bijvoorbeeld Smits et al. en Genseberger et al.

In elk geval is het kennelijk moeilijk om onderzoeken en ontwerpen op een andere manier te beschrijven dan via stroomdiagrammen en faseringen, waarvan de auteurs zelf meestal ook wel toegeven dat de processen in de werkelijkheid (van 'echte' onderzoekers, maar ook in het onderwijs) veel complexer verlopen. De bruikbaarheid van heuristische die op dergelijke diagrammen en faseringen zijn gebaseerd, zou een aandachtspunt in vervolgonderzoek moeten zijn.

Als we kijken naar de manieren waarop in de artikelen in dit themanummer wordt getracht om de vernieuwing van het onderwijs te ondersteunen, valt op dat in drie van de zes bijdragen de docent centraal staat. Vooral bij Van Tilburg en Verloop en bij Van Rens en Dekkers is duidelijk dat zij aansluiten bij de trend om de bestaande praktijk en de cognities van (ervaren) docenten te inventariseren bij de start van een onderwijsinnovatie-project (Van Driel et al., in press). Deze keuze biedt onder meer de mogelijkheid te kunnen profiteren van de potentiële rijkheid van deze ervaringskennis die bij voorkeur als bron kan fungeren bij het ontwerpen van de innovatie. In het project van Van Tilburg en Verloop komt dit echter niet goed uit de verf, zo te zien vooral omdat de betrokkenen bij het project (projectleiding en docenten) andere verwachtingen van elkaars rol hadden. Bij Van Rens en Dekkers stemt de samenwerking tussen docenten en opleiders/onderzoekers hoopvoller, hoewel bij hen het risico blijft bestaan dat de weerbarstigheid van de onderwijspraktijk, met alle beperkende randvoorwaarden vandiën, de gang van het ontwikkelingsonderzoek te zeer gaat dicteren.

Van der Waal sluit ook aan bij bestaande kennis en opvattingen van bèta-docenten, maar dan op het gebied van technisch ontwerpen. Zij ziet vooral tekortkomingen bij de docenten en zoekt op een wat meer traditionele manier dan in de twee hiervoor besproken bijdragen naar manieren om de docenten 'bij te spijkeren'. Daarbij loopt zij het risico in de aloude valkuil te stappen van een top-down gerichte onderwijsinnovatie, met inbegrip van gerichte training en instructie van de betrokken docenten, die vervolgens toch niet blijken te doen wat de vernieuwers hadden gewenst (zie Verloop, 1999).

Wellicht is het gezien de beperkte kennis en ervaring van docenten op het gebied van ontwerpen en onderzoeken een goede suggestie om docenten onderzoeks- of ontwerp stages te laten lopen, bijvoorbeeld in de laboratoria van de (technische) universiteiten. Dit gebeurt in de VS met enige regelmaat (zie bijv. Gilmer, 1997), vooral omdat veel bèta-docenten in dat land (maar

zou dat bij ons veel anders zijn?) persoonlijk nauwelijks tot geen ervaring hebben met het zelf verrichten van wetenschappelijk onderzoek.

Het is opvallend dat er in de beschreven projecten zo weinig gebruik gemaakt is van de mogelijkheden van ICT. Alleen Pijs et al. zetten de computer in als een belangrijk hulpmiddel bij het verrichten van onderzoek. De structuur van hun beide opdrachten ('Plinko 1 en 2') is tamelijk open. In de praktijk bleek dat de opdracht in eerste instantie vooral uitnodigde tot 'experimenteren' in de zin van trial-and-error. Bemoedigend is dat de leerlingen vervolgens meer systematisch en met behulp van berekeningen hun vermoedens gingen exploreren. Onduidelijk is echter in hoeverre de structuur van de opdracht en de (niet beschreven) rol van de docent hiertoe hebben bijgedragen, maar daar zal in vervolgonderzoek aandacht aan worden besteed. Wij denken echter dat ook in een aantal andere projecten ICT kan worden ingezet, bijvoorbeeld om langdurige experimenten of herhaalde metingen te simuleren. Een dergelijke aanpak wordt momenteel bijvoorbeeld toegepast binnen het PACKS-project (zie Millar, 1999) en lijkt ook bruikbaar binnen de projecten van Smits et al. en Van Rens en Dekkers. Ook Van der Waal zou zich bij het ontwikkelen van geschikte ontwerp opdrachten kunnen richten op het gebruik van ICT. Zo bestaan er in het technisch onderwijs al veel toepassingen, bijvoorbeeld van software op het gebied van computer-aided-design (CAD) en zijn er interessante simulatieprogramma's beschikbaar (zie bijv. De Jong et al., 1999, over het SIMQUEST systeem).

Er vallen ook enige tekortkomingen in de hier gepresenteerde onderzoeken te signaleren. Gezien het doorgaans prille stadium zijn dergelijke tekortkomingen begrijpelijk en deels onvermijdelijk, dus we bedoelen het onderstaande vooral als suggesties voor toekomstig onderzoek.

- In enkele gevallen is de oriëntatie op internationale literatuur nogal mager. De theoretische oriëntatie van Pijs et al. is bijvoorbeeld in de eerste plaats gericht op samenwerkend, constructivistisch en zelfstandig leren. Een oriëntatie op 'onderzoeken' en 'leren onderzoeken' is echter nagenoeg afwezig, afgezien van de verwijzing naar Polya. Van Rens en Dekkers hebben zich in hun literatuuriëntatie voornamelijk beperkt tot Nederlandse en Engelse artikelen over practica en laboratoriumwerk. Er ontbreekt echter een bespreking van relevant recent werk uit de VS op het gebied van 'inquiry teaching', waarover de laatste jaren op de NARST-conferenties regelmatig is gerapporteerd (zie bijvoorbeeld Van Driel et al., 1998). Van der Waal zou baat kunnen hebben bij een uitgebreide oriëntatie op internationaal onderzoek naar onderwijs op het gebied van 'design' en 'technology', S-T-S (Science-Technology-Society), enzovoort.
- We constateren dat er weinig aandacht wordt geschonken aan het beoordelen van ontwerp- en onderzoeksvaardigheden. Alleen bij Van Tilburg en Verloop speelt deze thematiek een belangrijke rol, maar in andere bijdragen ligt het accent vooral op het ontwikkelen van geschikte opdrachten en het begeleiden daarvan.
- Voorts valt op dat nauwelijks of niet wordt aangesloten bij de ervaringen in het universitair onderwijs, terwijl hier toch de nodige ervaring bestaat in het opleiden van onderzoekers en ontwerpers. Bovendien is daar ook het nodige onderzoek naar verricht. Zie bijvoorbeeld de dissertaties van De Jager

(1985), Goedhart (1990), Elzenga (1991) en Van Keulen (1995) die alle betrekking hebben op het leren onderzoeken bij universitaire chemiepractica. Alleen Van der Waal baseert zich op de (technisch) universitaire ervaringen met ontwerp- en onderwijs en verder verwijzen Smits et al. eenmaal naar het proefschrift van Kirschner over practica in het hoger onderwijs. Vooral bij deze auteurs zou echter een vergelijking met de dissertatie van Goedhart voor de hand gelegen hebben. Goedhart heeft het 'leren meten' door eerstejaars chemiestudenten onderzocht, waarbij hij ook veel aandacht heeft geschonken aan het interpreteren en evalueren van verkregen meetresultaten, met daarbij een belangrijke rol voor begrippen uit de foutenleer.

Wat betreft de toekomst van het leren onderzoeken en ontwerpen in de Tweede Fase geeft dit themanummer aanleiding tot bezinning. Kennelijk moeten we voorlopig niet al te optimistisch zijn over spoedige succesvolle veranderingen. Vooral de toekomst van het technisch ontwerpen ziet er nog niet erg rooskleurig uit, zolang er bij docenten weinig affiniteit en veel onduidelijkheid over bestaat. De verschillende bijdragen zetten aan tot relativering en nuchter realisme als het gaat om de vraag wat haalbaar is. Belangrijk daarbij is de vraag die in het artikel van Genseberger et al. centraal staat, te weten: wat willen we eigenlijk bereiken met het verwerven van onderzoeks- en ontwerpvaardigheden in het voortgezet onderwijs? Het is duidelijk dat een opleiding tot onderzoeker of ontwerper (nog) niet aan de orde is. Heeft het dan veel zin om leerlingen in het voortgezet onderwijs 'al vast' een paar nuttige deelvaardigheden te leren, zoals het schrijven van een verslag of het formuleren van een hypothese? Dergelijke vaardigheden zouden, passend in de filosofie van de Tweede Fase, een algemene waarde moeten hebben en het verwerven ervan zou nuttig moeten zijn in het kader van het leren (zelfstandig te) leren. De auteurs van dit themanummer benaderen leren onderzoeken of ontwerpen echter als een onderwijsdoel op zich, met uitzondering van Pijls et al. Onderzoek naar de transfer van de bij bètavakken geleerde onderzoeks- en ontwerpvaardigheden naar andere domeinen en situaties zou wat dit betreft wenselijk zijn.

Al met al belicht dit themanummer een vernieuwingsdoel dat nog tamelijk ver verwijderd is van huidige lespraktijken. Net als bij vele andere innovatiepogingen in het science-onderwijs bestaat er een forse kloof tussen curriculumidealen en leerlinguitkomsten. Dat is geen exclusieve bevinding voor onze eigen contreien maar geldt als een internationaal ervaringsgegeven (Van den Akker, 1998; Black & Atkin, 1996). Het vakdidactische repertoire van docenten heeft nog vele impulsen alvorens dergelijke vernieuwingen realiteit kunnen worden. Vakdidactisch onderzoek zoals als hier beschreven (en hopelijk gecontinueerd en uitgebreid) kan zeker helpen daar nuttige kennis over te vergaren die relevant is voor de praktijk.

Referenties

Akker, J. J. H. van den (1998). The science curriculum between ideals and outcomes. In B. Fraser & K. Tobin (Eds.), *International handbook of science education* (pp. 421-447). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

- Black, P. & Atkin, M. (Eds.) (1996). *Changing the subject. Innovations in science, mathematics and technology education*. London: Routledge.
- Driel, J. van, Berg, Ellen van den, Berg, Ed van den, McKenney, S., & Tilburg, P. van (1998). Conferentieverlag NARST 1998. *Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen*, 15, 63-68.
- Driel, J.H. van, Beijgaard, D., & Verloop, N. (in press). Professional development and reform in science education: The role of teachers' practical knowledge. *Journal of Research in Science Teaching* (accepted for publication).
- Elzenga, H.E. (1991). *Kwaliteit van kwantiteit*. Utrecht: Dissertatie Rijks Universiteit Utrecht.
- Gilmer, P.J. (1997). *Teachers learning science by doing science*. Paper presented at the annual meeting of the National Association of Research in Science Teaching (NARST), Oak Brook, Ill.
- Goedhart, M.J. (1990). *Meten: Normen en waarden*. Utrecht: Dissertatie Rijks Universiteit Utrecht.
- Jager, H. de (1985). *Leren synthetiseren. Symbiose van ambacht en wetenschap*. Utrecht: Dissertatie Rijks Universiteit Utrecht.
- Jong, T. de et al. (1999). Cognitive tools to support the instructional design of simulation-based discovery learning environments: the SIMQUEST Authoring system. In J. van den Akker et al. (Eds.), *Design approaches and tools in education and training* (pp. 215-224). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Keulen, J. van (1995). *Making sense*. Utrecht: CD- β press. Dissertatie Universiteit Utrecht.
- Millar, R. (1999). Understanding how to deal with experimental uncertainty: a 'missing link' in our model of scientific reasoning? In M. Komorek et al. (Eds.), *Research in science education. Past, present and future*. (Proceedings of the 2nd International Conference of the European Science Education Research Association; E.S.E.R.A., pp. 276-278). Kiel: IPN.
- Thompson, C.L., & Zeuli, J.S. (1999). The frame and the tapestry: Standards-based reform and professional development. In L. Darling-Hammond & G. Sykes (Eds.), *Teaching as the learning profession. Handbook of policy and practice* (pp. 341-375). San Francisco: Jossey-Bass.
- Verloop, N. (1999). *De leraar*. Den Haag: NWO/PROO.