

## Natuurkunde-didactisch onderzoek: de moeite waard?

P.L. Lijnse  
Natuurkunde-Didactiek, CD- $\beta$   
Universiteit Utrecht

### Summary

*Has research in physics education, as done in The Netherlands in the past thirty years, been a worthwhile activity? What has been done? Has it influenced practice and has it resulted in a promising paradigm for the near future? How does it relate to general research in education? These questions are being dealt with in this paper from a subject-specific point of view. The author argues that past research in physics education can best be characterized as pre-paradigmatic, which means that sofar little theoretical progress has been made. For the future, the search for didactical structures within a developmental research programme seems, however, to be promising. But, to be able to fulfill this promise, content specific research in education needs much more support than it has been given sofar.*

### 1. Inleiding

Dit themanummer gaat over de relatie  $\beta$ -didactiek - onderwijskunde. En daarmee ook over de vraag of  $\beta$ -didactisch onderzoek wel een eigen gezicht heeft. Dat gezicht kunnen we natuurlijk proberen theoretisch te definiëren, maar dat blijkt nog niet zo eenvoudig (zie bijvoorbeeld een eerdere poging daartoe in: Lijnse en Hooymayers, 1987). Een andere manier is om gewoon te kijken naar wat er onder die noemer de laatste jaren is gedaan. Dat laatste zal ik proberen te doen voor de natuurkunde-didactiek in ons land<sup>1</sup>. Als 'maat' voor het didactisch onderzoek zal ik me in eerste instantie vooral richten op de universitaire promoties die op dit gebied hebben plaatsgevonden. Zonder al het andere didactische werk ook maar enigermate tekort te willen doen, of ook maar bij voorbaat te willen suggereren dat promotieonderzoeken de belangrijkste activiteit zijn voor didactiekontwikkeling, zouden ze wel prototypisch moeten zijn voor wat 'echt' onderzoek in deze kan opleveren. Dat betekent, bijvoorbeeld, dat ik niet zal ingaan op de rol van curriculum- en leerplanontwikkeling, of op allerlei maatschappelijk geïnduceerde didactische ontwikkelingen in de praktijk van het onderwijs zelf. Door beschrijving en analyse van de in ons land verschenen proefschriften zal de voornoemde relatie eerst op concrete wijze aan de orde komen. Vervolgens zal ik daarop reflecteren en proberen een en ander in een groter kader te plaatsen.

## 2. Korte historie

Natuurkunde-didactisch onderzoek is een werkterrein met een korte historie. Toen ik, nu ruim twintig jaar geleden, ging werken in dit vakgebied, was één ding duidelijk: met onderzoek had het weinig of niets te maken. Dat werd in ons land niet of nauwelijks gedaan, enkele uitzonderingen daargelaten. Deze uitzonderingen waren trouwens tot dan toe op de vinger van één hand te tellen: Steller (1965) had het effect van 'practicum' onderzocht, waarbij hij tot de conclusie kwam dat dit niet alleen leidt tot 'handigheid' maar wel degelijk ook tot groter inzicht. En Auer (1966) had een "proeve van een didactisch model, ten behoeve van het onderwijs in de natuurwetenschappen, en meer speciaal dat in de natuurkunde" ontwikkeld.

In het voorwoord van de handelsuitgave van dit laatste proefschrift schrijft de pedagoog Stellwag: "Van belang lijkt mij ook dat geheel in overeenstemming met modern pedagogische inzichten de vakstructuur de opbouw van de didactiek bepaalt. Er is een tijd geweest dat men voor de fundering van de didactiek meende dat men vooral bij leerpsychologische onderzoekingen zou moeten aansluiten. Hoewel leerpsychologische inzichten niet gemist kunnen worden, moet toch de nadruk vallen op de speciale bijdrage, die elk vak door zijn specifieke inhouden en methoden tot de algemene vorming levert.

Tenslotte: een der belangrijkste inzichten is toch wel dat doceren is: in communicatie staan. Hoeveel gebrek aan communicatie moet op rekening gezet worden van het taalgebruik van de docent? Een te vroege introductie van vaktermen, doch ook te weinig aandacht voor de abstracte reductie die woorden uit de omgangstaal in de vaktaal ondergaan, heeft de toegang tot een vak voor een bepaalde leerling vaak reeds in de beginfase gesloten".

Dit is een leerzaam citaat. Het wijst kort op een aantal didactische kernproblemen, waarvan we ons dan direct kunnen afvragen of dertig jaar  $\beta$ -didactisch onderzoek (voorzover dat er geweest is) ons iets verder heeft gebracht ten aanzien van hun oplossing.

Alvorens het over vakdidactisch onderzoek te hebben is het misschien nuttig om eerst even te kijken naar wat we eigenlijk verstaan onder een vakdidacticus<sup>2</sup>. Steller (1965) schrijft dat de faculteit der Wis- en Natuurkunde van de Rijksuniversiteit te Utrecht in 1922 een voorstel verwierp tot het geven van colleges in de didactiek der natuurkunde omdat: "het toch meestal de slechte leraren zijn die zich met didactiek bezig houden". Later is men daar toch op terug gekomen. De start van de 'professionele' vakdidactiekbeoefening ligt dan ook in de leraarsopleiding en wel, historisch gezien, bij de aanstelling van 'vakdidactiek-docenten'. Deze docenten waren bij voorkeur ervaren leraren. Hun onderwijs bestond uit het doorgeven van praktijkervaring, veelal in de vorm van didactische vuistregels. De 'algemene didactiek' had de taak

deze praktijkkennis wetenschappelijk met behulp van ontwikkelingspsychologische en pedagogische theorie te onderbouwen. Van een theorie-praktijk koppeling was echter geen sprake. Deze 'taakverdeling' heeft zich in essentie tot vandaag toe grotendeels gehandhaafd; waarschijnlijk omdat men zich, met Knoers (1987), kan afvragen of de vakdidactiek het niveau van 'theorie van onderwijzen' wel al heeft bereikt<sup>3</sup>.

Vanaf de start van een meer geprofessionaliseerde leraarsopleiding in de jaren zeventig, veranderde echter de rol van de vakdidactiek. Enerzijds ging het nog steeds om de praktijkkennis en het vakmanschap dat de schoolpracticumdocent en instituutsbegeleiders aandragen; anderzijds werd 'verwetenschappelijking' gezocht in de vorm van op het schoolvak *toegepaste onderwijskunde* (Vakgroep Natuurkunde-Didactiek, 1977; Schraag e.a., 1978). Internationaal gezien werd dit laatste niet alleen gestimuleerd door de ontwikkeling van de onderwijskunde, maar vooral ook door het beschikbaar komen van producten van grootschalige curriculumontwikkelingsprojecten voor het onderwijs in de exacte vakken (bijvoorbeeld: PSSC-Physics, Harvard Project Physics, Nuffield O and A level Physics, etc.; in ons land vooral PLON en DBK). Deze producten vonden hun weg naar de didactici in de leraarsopleiding (anderen waren er immers niet), die er scholing en nascholing over gingen verzorgen. En aangezien deze projecten ook gebaseerd waren, of claimden te zijn, op onderwijspsychologische theorieën van mensen als Bloom, Gagné, Piaget, Bruner, e.d., moesten ook de vakdidactici zich hier wel in gaan verdiepen.

Internationaal gezien bleek het voor de ontwikkeling van de vakdidactiek echter minstens zo belangrijk dat behalve curriculummaterialen, een groep mensen beschikbaar kwam die zich voor het eerst, anders dan op onderwijspraktijkniveau, beroepsmatig in vakdidactische problemen hadden moeten verdiepen. En die ook onderzoekservaring hadden opgedaan met het uittesten, scholen en evalueren van en voor de betreffende projecten. Hieraan is de opkomst van een groep "science and mathematics educators" te danken, die zich sindsdien professioneel (ook) is gaan bezighouden met vakdidactisch onderzoek (zie Fensham et al. 1994). Althans, voorzover we 'research in science education' hiermee mogen gelijkstellen<sup>4</sup>. Daarmee is vakdidactiek, althans in principe, ontkoppeld van 'datgene wat leraaropleiders doen'. Een vakdidacticus hoeft niet meer noodzakelijkerwijs tegelijkertijd een leraaropleider te zijn (iets wat bij het reken-/wiskundeonderwijs in ons land overigens al veel langer het geval is). Enigszins op vergelijkbare wijze heeft vakdidactisch onderzoek zich, zij het op uiterst bescheiden schaal, ook in ons land langzamerhand ontwikkeld tot een min of meer 'reguliere' activiteit.

Deze ontwikkeling heeft naast een inhoudelijke ook een beleidsmatige kant. In de jaren zestig en zeventig was het zo dat je als vakdidacticus-leraaropleider eigenlijk vrij was om de tijd die je, naast je onderwijs, beschikbaar had te besteden aan 'nuttige zaken voor het onderwijs' (zoals leerboeken schrijven, proefontwikkeling, advisering van docenten, etc.). Door de bezuinigingen aan de universiteiten, en door de invoering van een systeem van voorwaardelijke onderzoeksfinanciering (vormgegeven in zogenoemde VF-programma's)<sup>5</sup>, in feite een vorm van kwaliteitsbewaking, veranderde deze situatie. Ook het werk van vakdidactici moest, wou het althans in enige omvang kunnen blijven plaatsvinden, gebundeld worden in goedgekeurde onderzoeksprogramma's, en daardoor de status van echt onderzoek gaan krijgen. Voor ieder die enigszins bekend is met de versnipperde en kleinschalige wijze waarop de vakdidactiek in ons land plaatsvond (en vindt), zal het duidelijk zijn dat dit geen gemakkelijke opgave was<sup>6</sup>. In Utrecht heeft dit geleid tot de vorming van het landelijk gezien enige didactische onderzoeksprogramma voor de natuurwetenschappen 'Begripsontwikkeling en Curriculumonderzoek in de Wiskunde en Natuurwetenschappen' (Lijnse, 1995b). Hierin gingen biologie-, natuurkunde-, scheikunde- en wiskunde-didactici, overigens zonder dat er sprake was van enige gemeenschappelijke onderzoekstraditie, samenwerken<sup>7</sup>. Op sommige andere plaatsen leidde dit aanvankelijk tot de expliciete beslissing dat men geen vakdidactisch onderzoek mocht doen.

Dit laatste is echter, voornamelijk als gevolg van de eerste visitatie van de eerstegraads leraarsopleidingen, inmiddels drastisch veranderd. Vanwege de concurrentie tussen de universiteiten t.a.v. het mogen hebben van een leraarsopleiding, is het beoefenen van vakdidactisch onderzoek welhaast tot een selectie- en kwaliteitscriterium geworden, wat er toe leidt dat ook de universiteiten die dit gebied aanvankelijk totaal verwaarloosden nu maatregelen treffen om dit recht te trekken. Daarbij moet men overigens niet denken aan het in het leven roepen van grote onderzoeksgroepen, maar veeleer aan 'meer dan niets'.

Dit alles houdt in dat ondanks de hierboven beschreven principiële ont koppeling, vanwege de beschreven institutionele belangen deze koppeling in ons land in de praktijk welhaast nog sterker is geworden dan vroeger al het geval was. Het betekent ook dat, vanwege diezelfde belangen en vanwege haar kleinschaligheid, de vakdidactiek op veel plaatsen, juist voor de ontwikkeling van haar onderzoekscomponent, in feite is ondergebracht bij de 'algemene didactiek' en/of onderwijskunde, of plaats vindt onder leiding van onderwijskundigen. Een situatie die naar mijn idee slecht is voor de noodzakelijke eigen ontwikkeling van de vakdidactiek. En daarmee zijn we terug bij het centrale thema van dit nummer.

### 3. Natuurkunde-didactisch onderzoek in Nederland

Na die van de twee genoemde pioniers zijn er in ons land nog een aantal natuurkunde-didactische proefschriften verschenen, die ik nu eerst met u wil doornemen<sup>8</sup>.

1. Licht (1982) heeft onderzoek gedaan naar de effecten van de in het kader van het project differentiatie binnen klasseverband voor natuurkunde (DBK-na) ontwikkelde onderwijs gebaseerd op het BHE-model, in het bijzonder voor de leerjaren 3 havo-vwo en 2 mavo-havo-vwo.
2. Verkerk (1983) heeft een praktijkgericht empirisch onderzoek gedaan naar de rol van practicum in het schoolonderzoek natuurkunde, met speciale aandacht voor de beoordeling van practicumvaardigheden, op havo- en vwo-scholen.
3. Van den Berg (1983) heeft nagegaan in hoeverre het gebruik van heuristieken het leren oplossen van natuurkundevraagstukken in klas vier vwo kan verbeteren.
4. Ellermeijer (1987) heeft soortgelijk onderzoek gedaan als Licht, maar dan gericht op 2 havo-vwo.
5. De Bruijn (1988) heeft een onderzoek gedaan naar het ontwerp en het effect van aanvullend computer-ondersteund natuurkunde-onderwijs in het begin van het vierde leerjaar havo-vwo.
6. De Vries (1988) heeft onderzocht welke kenmerken van techniek men kan integreren in het natuurkunde-onderwijs, "zodanig dat leerlingen een evenwichtig beeld krijgen van de techniek en een evenwichtige attitude er tegenover".
7. Ferguson-Hessler (1989) heeft een onderzoek gedaan naar de cognitieve aspecten van het leren en doceren van natuurkunde, gericht op het niveau van eerste jaars universiteitsstudenten.
8. Van Genderen (1989) heeft zich bezig gehouden met het (havo/vwo) onderwijs in de mechanica. Naast een historische analyse van dit onderwijs richtte hij zich op de rol van begripsproblemen bij het leren van mechanica en op de rol van contexten.
9. Wierstra (1990) heeft een evaluatieonderzoek uitgevoerd naar de effecten van het PLON-curriculum, waarvan een hoofddoelstelling was om het natuurkunde-onderwijs, door middel van participatie- en leefwereldgerichtheid, meer betekenisvol te laten zijn voor leerlingen.
10. Eijkelhof (1990) heeft onderzoek gedaan naar de legitimering van nieuwe leerstofelementen voor STS-onderwijs op het gebied van radioactiviteit. Daarnaast heeft hij laten zien dat ook op dit gebied in regulier onderwijs veel onvermoede begripsproblemen optreden.
11. Van der Valk (1992) heeft zich toegelegd op het onderwerp energie in de bovenbouw vwo. Hij heeft nagegaan in hoeverre in een deels 'reali-

- teitsgericht' en deels 'vakstructuurgericht' curriculum de gewenste begripsmatige wendbaarheid ook inderdaad kan worden bereikt.
12. Dekker (1993) heeft een soortgelijk onderzoek gedaan als Van der Valk, maar dan voor het onderwerp mechanica op het vwo.
  13. Jörg (1993) heeft zich bezig gehouden met de vraag waardoor de attitude van meisjes ten aanzien van natuurkunde in de onderbouw wordt beïnvloed en hoe deze attitude zich in de loop van het onderwijs ontwikkelt.
  14. Taconis (1995) heeft zich gericht op de beschrijving van probleemoplossingsvaardigheden en de rol die beheersing hiervan voor het vak natuurkunde speelt bij de aansluiting havo/vwo met hbo/wo. Hij heeft tevens geprobeerd om een brug te slaan tussen onderzoek dat zich in eerste instantie bezig houdt met probleemoplossen en dat wat zich in eerste instantie bezig houdt met begripsontwikkeling.
  15. Klaassen (1995) heeft zich gericht op onderwijs over radioactiviteit voor het mavo. In zijn werk komt hij tot een nieuwe 'probleemstellende' onderwijsconceptie, die hij door middel van ontwikkelingsonderzoek vorm geeft in een empirisch geteste en theoretisch onderbouwde 'didactische structuur' voor dit onderwerp<sup>9</sup>.

Uit deze opsomming blijkt dat er, in ieder geval qua aantal, inmiddels toch een zekere onderzoeksmolen op gang lijkt te zijn gekomen. De redenen daarvoor zijn inmiddels al aan de orde geweest. We kunnen ons daarbij nu de volgende vragen stellen.

- Hoe kunnen we de beschreven onderzoeken verder karakteriseren, qua vraagstelling, methodische uitwerking, theoretisch kader, praktijkrelevantie van de opbrengst, etc.?
- Kunnen we wel spreken van *het* natuurkunde-didactisch onderzoek, of is het beter daarin meerdere stromingen te onderscheiden?
- En, wat is nu de relatie van dit onderzoek met onderwijskundig onderzoek?

#### 4. Een eerste analyse

Ter beantwoording van deze vragen wil ik eerst pogen de beschreven proefschriften t.a.v. hun onderzoeksvraagstelling en uitwerking nader te categoriseren.

De onderzoeken van Licht, Ellermeijer en Wierstra laten zich het eenvoudigst indelen. Dit zijn in feite evaluaties van relatief grootschalige curriculumontwikkelingsprojecten. Voor het DBK-project betrof deze evaluatie met name de hanteerbaarheid en de effecten van het onderwijskundige BHE-differentiatie-model. Aan de ontwikkeling van het PLON-project lag geen duidelijk onderwijskundig model ten grondslag, zodat de evaluatie meer pragmatisch

gericht was op de verwezenlijking van de hoofddoelstellingen van het ontwikkelde curriculum. In alle drie de onderzoeken kan men, zowel methodologisch als qua theorievorming, spreken van onderwijskundig onderzoek. De onderzoeken richtten zich wel op de evaluatie van natuurkundecurricula, maar de vakinhoud zelf speelde er geen rol in. Daarom kan men zich met recht afvragen of we hier wel moeten spreken van vakdidactisch onderzoek (in engere zin, zo u wilt), zonder daarmee overigens iets af te willen doen aan het belang van zulk evaluatieonderzoek. Het praktijkbelang zit niet zozeer op het niveau van de individuele leraar, maar meer op beleidsniveau, in die zin dat gepropageerde onderwijsvernieuwingen (achteraf) op hun realiteitswaarde worden getoetst.

De onderzoeken van Verkerk, De Bruijn en De Vries vallen (in meer of mindere mate) in een andere categorie. Hierin worden in feite eerst onderwijsinnovaties kleinschalig (verder) ontwikkeld en vervolgens op hun kenmerken, haalbaarheid en effecten onderzocht (nl: praktisch schoolonderzoek, COO als remediëingsmiddel, techniekmodules in natuurkunde). In deze onderzoeken maakt de (verdere) ontwikkeling en beschrijving van de innovatie, al of niet onderbouwd vanuit een onderwijspsychologisch perspectief, dus deel uit van de onderzoeksactiviteiten. De innovatie wordt uitgetest en methodologisch kwantitatief onderzocht. Het vakdidactische aspect zit bij deze onderzoeken dus vooral in de vormgeving, uitvoering en verantwoording van de innovatie. De praktijkrelevantie wordt (voor succesvolle innovaties) enerzijds gegeven door de extrapolatie naar landelijk beleidsniveau en anderzijds door het feit dat de ontwikkelde materialen en aanwijzingen ook op het niveau van de individuele leraar gebruikt kunnen worden (of dit gebeurt is een andere zaak).

Een derde cluster onderzoeken is dat van Van den Berg, Ferguson-Hessler en Taconis. In deze onderzoeken ligt, op overigens nog verschillende wijze, de nadruk op het leren en onderwijzen van natuurkunde en van probleemoplossingsvaardigheden. Gemeenschappelijk is dat ze theoretisch ingebed zijn in het kader van de handelings- en/of cognitieve psychologie.

In het onderzoek van Van den Berg gaat het om het effect op het onderwijsresultaat van de toepassing van voornamelijk op grond van analyse van expertgedrag geformuleerde heuristieken. Bij Ferguson-Hessler en Taconis wordt deze benadering aanzienlijk genuanceerd en uitgebreid. Zij proberen de kenmerken van in onderwijs aangeboden natuurkundige kennis en kunde (vaardigheden), alsmede het onderwijsresultaat met inbegrip van geconstateerde begripsproblemen, cognitief psychologisch te interpreteren, om vervolgens op grond daarvan verdere aanbevelingen voor onderwijsverbetering te kunnen formuleren.

Ik zou met name deze latere onderzoeken, zowel vanwege het karakter van hun theorievorming als vanwege hun methodologie, eerder als toegepast onderwijspsychologisch dan als natuurkunde-didactisch willen kwalificeren. De analyse van de onderzoeksgegevens wordt niet in eerste instantie gedaan vanuit didactische optiek, maar is veeleer gericht op de wijze waarop natuurkundige kennis en kunde psychologisch wordt opgeslagen en verwerkt. De gebruikte methodologie is er dan ook vooral op gericht daarover informatie te verkrijgen, en niet in eerste instantie op het onderzoeken van het didactisch proces zelf. Praktijkaanbevelingen, die zowel op beleidsniveau als op het niveau van de individuele docent liggen, worden verkregen door het verkregen inzicht t.a.v. kennisrepresentatie te vertalen naar consequenties voor onderwijsvormgeving en didactiek.

Tenslotte is er nog een ander cluster van onderzoeken<sup>10</sup> (Van Genderen, Eijkelhof, Van der Valk, Dekker, Klaassen<sup>11</sup>, waarin op een of andere manier de term 'begripsontwikkeling' centraal staat. Althans, op dat aspect wil ik nu focussen<sup>12</sup>.

Deze onderzoeken richten zich direct op het didactisch beter laten verlopen van natuurkundige leer- en onderwijsprocessen, en wel door zich in eerste instantie op een bepaald inhoudsgebied te focuseren. Daartoe wordt bestaand onderwijs op inhoudelijk-didactische problemen onderzocht, eventueel nieuw (verbeterd?) onderwijs ontwikkeld, of beide. Methodologisch is de wijze waarop een en ander in deze onderzoeken gebeurt overigens nog zeer verschillend, variërend van inhoudelijke analyse van kwantitatieve produktmetingen, zoals (voor- en na-)toetsen en open vragenlijsten, tot een gedetailleerd volgen van het individuele onderwijsleerproces, door middel van het analyseren van video-opnamen en uitgeschreven protocollen van gesprekken tussen leerlingen onderling of tussen leerlingen en docenten.

Steeds gaat het echter in eerste instantie om het greep krijgen op de inhoudelijke problemen van leerlingen, op de vraag of de didactische maatregelen van docent en lesmateriaalontwikkelaar daarvoor voldoende oog hebben gehad en hoe hierin verbetering kan worden aangebracht. Daarvoor is ook een inhoudelijk-conceptuele analyse van de te onderwijzen inhouden belangrijk. Kortom in deze onderzoeken staat (in meer of mindere mate) het inhoudelijk didactisch proces centraal.

Praktijkrelevantie zou, naast beleidsmatige conclusies, moeten bestaan uit de directe herkenbaarheid van de beschreven problemen en oplossingen voor docenten, alsmede uit de bruikbaarheid van de ontwikkelde onderwijsmaterialen en docentenhandleidingen.

Naar mijn oordeel zijn deze onderzoeken (opnieuw in meer of mindere mate) het meest prototypisch voor wat men zich bij *natuurkundedidactisch*



onderzoek, als activiteit *naast* onderwijskundig of onderwijspsychologisch onderzoek überhaupt zou kunnen voorstellen. Vandaar dat een nog wat nadere beschouwing op zijn plaats lijkt te zijn.

In feite vormen de laatste twee clusters de kern van de vraag naar de verhouding tussen onderwijskunde en vakdidactiek.

Kunnen we wel spreken van domeinspecifieke onderwijsleertheorieën, of moeten we in de vakdidactiek volstaan met toepassing van algemene, psychologisch gemotiveerde leer- en instructietheorieën? Ofwel, enigszins badinerend geformuleerd: is de psychologische 'omweg via denken en het geheugen' behalve wetenschappelijk interessant, didactisch wel nuttig en nodig?

### 5. Een verdere reflectie

Als we dan het laatste cluster wat preciezer onder de loep nemen, moeten we in de eerste plaats constateren dat er in de onderzoeken 'van de eerste generatie' nog weinig samenhang is in gehanteerde methodologie, theoretische uitgangspunten en opbrengst. Een gemeenschappelijk kenmerk is dat leerlingconcepties een inhoudelijk aandachtspunt vormen, maar de mate waarin en de wijze waarop deze worden opgespoord, dan wel de wijze waarop hun invloed op het onderwijsleerproces wordt bestudeerd is nog zeer divers. In feite blijkt hieruit het nog ontbreken van een goed ontwikkelde gemeenschappelijke programmatische visie op onderzoek, waardoor de uitwerkingen en opbrengsten ook een duidelijke richting missen.

Deze eerste generatie onderzoeken kenmerkt zich ook doordat ze theoretisch 'arm' zijn. De inhoudelijke opbrengst blijft daardoor sterk situatiegebonden en (gevals)beschrijvend van aard, waardoor het niet direct duidelijk is hoe hierop nu kan worden voortgebouwd, dan wel hoe er transfer naar andere gebieden kan plaats vinden. Hier zit overigens een kernprobleem voor de vakdidactiek. Immers, als het nu juist een essentiële kenmerk is dat het onderzoek inhoudspecifiek is, kan er dan überhaupt generalisatie, dan wel transfer optreden? Of brengt ons dat, zodra we het proberen, dan toch onmiddellijk bij de onderwijspsychologie<sup>13?</sup>

De constatering van dit gebrek aan een duidelijke richting en daarmee aan de mogelijkheid tot progressie is niet bedoeld als kritiek. Het lijkt me eerder een onvermijdelijk kenmerk te zijn van een uiterst pril vakgebied, dat zich, in Kuhn's termen, nog in een pre-paradigmatische fase bevindt.

Ook de internationale situatie op het gebied van science education research vertoont trouwens nog sterk de bij deze fase horende kenmerken van een zoeken en tasten, zoals de volgende korte schets moge illustreren.

De 'curriculum wave' van de jaren vijftig en zestig werd vakinhoudelijk

bepaald door de opkomst van 'the structure-of-the-discipline' als uitgangspunt voor curriculumconstructie, en theoretisch 'ondersteund' door het behavioristisch-onderwijskundige denken in termen van operationele doelstellingen, taxonomieën en leerhiërarchieën. Helaas bleken de op het eerste gezicht zo schitterende curricula te leiden tot teleurstellende onderwijsresultaten (White and Tisher, 1986). De ontwikkelingspsychologie, in casu de niveaustheorie van Piaget, werd als het ware te hulp geroepen om deze tekortkomingen te verklaren in termen van een 'mismatch' tussen hoe de cognitieve vermogens van leerlingen zich ontwikkelen en wat de ontwikkelde curricula in dit opzicht bleken te vragen (Shayer and Adey, 1981). De remedie lag daarmee ook voor de hand (Karpus e.a., 1976)<sup>14</sup>. Enerzijds de vakstructuur beter 'niveaugewijs' onderwijzen, en anderzijds de cognitieve ontwikkeling van leerlingen stimuleren door middel van training in Piagetaans-logische denkpatronen. Mede in reactie daarop kwam tegelijkertijd, o.a. geïnspireerd door het opkomende cognitivisme, een grote stroom van publikaties over leerlingdenkbeelden op gang. Daarin werd in eerste instantie niet gefocust op generieke denkpatronen, maar juist op het inhoudelijke denken. Deze 'denkbeelden' zijn inmiddels voor veel begrippen meer of minder volledig in kaart gebracht. Deze onderzoeksuitkomsten leken in eerste instantie een sterke impuls te geven voor de ontwikkeling van vakdidactisch onderzoek, omdat ze juist een vraagteken zetten bij de gebruikelijke praktijkgebonden intuïtieve vakdidactiek van docenten en curriculumontwikkelaars. Ter verklaring en verdere theorievorming ligt echter nu sterk het accent op de cognitieve psychologie, d.w.z. op algemene ideeën over zaken als informatieverwerking, metacognitie, constructivisme en 'conceptual change'(Driver, 1988). Met als belangrijke remedie de noodzaak van aandacht voor (meta)cognitieve vaardigheden, inmiddels in ons land vertaald in 'leren leren' en studiehuis.

Wat moeten we hier nu uit concluderen? We zien eigenlijk steeds dat, althans in de invloedrijke Angelsaksische wereld van science educators, de verklaring en oplossing van inhoudelijk *ogende* didactische problemen in eerste instantie gezocht wordt in *psychologische* theorievorming<sup>15</sup>. Ofwel, van zelfstandige vakdidactische theorievorming t.a.v. het vakspecifieke onderwijsleerproces is in die landen nauwelijks sprake (zie, bijvoorbeeld, Fensham e.a., 1994). M.i. kan wat ik de internationale stagnering van de pas op gang gekomen bi-didactiekontwikkeling zou willen noemen, hieruit worden begrepen<sup>16</sup>. Men komt daardoor niet toe aan het uitwerken van een eigen vakdidactische weg<sup>17</sup>.

In de genoemde 'eerste generatie' onderzoeken is, m.i., wel de ontoereikendheid van psychologische theorievorming voor vakdidactiekontwikkeling aangevoeld, maar kon nog niet worden gekomen tot een duidelijk alternatief. Vandaar de reeds vermelde tekortkomingen in deze onderzoeken.

## 6. Ontwikkelingsonderzoek en didactische structuren

Hoe kunnen we dan toch komen tot de noodzakelijke eigen onderzoeksweg die  $\beta$ -didactische progressie wel mogelijk maakt? Naar mijn idee door niet zozeer te zoeken naar *verklarende* theorieën in termen van *psychologische* processen en kenmerken, dat kunnen we beter aan de onderwijspsychologie overlaten, maar door ons in ons onderzoek juist te focuseren 'op de (vak)-didactiek in feitelijke onderwijsleersituaties. Men zou kunnen zeggen dat vakdidactisch onderzoek zich specifiek zou moeten richten op de '*didactische kwaliteit*' van het vakonderwijs (Lijnse, 1994). Dat kan door dit onderwijs in zijn doelstellingen en vormgeving te bestuderen, vernieuwen en legitimeren, en door de gang van het inhoudelijke onderwijsleerproces te beschrijven, reflecteren en onderzoeksmatig te optimaliseren. In zulk onderzoek gaat het dan in de eerste plaats om het 'onderzoekend *maken en funderen* van goed vakonderwijs' en daardoor tegelijkertijd om het doen ontstaan van een empirisch onderbouwde vakdidactiek. De noodzaak hiervan blijkt nu, bijvoorbeeld, juist uit het genoemde 'misconceptie'-onderzoek. En ook uit het feit dat de traditionele curriculum- en leerplanontwikkeling, door het ontbreken van een daarop gerichte onderzoeksdimensie, getoond heeft de noodzakelijke didactische progressie niet te kunnen opleveren. Uiteraard moeten de resultaten van onderwijspsychologisch onderzoek zoveel als maar mogelijk is ingezet worden bij het zoeken naar deze 'didactische kwaliteit', maar de ervaring leert dat deze resultaten daarvoor, juist vanwege hun generaliserende aard, nu eenmaal maar zeer beperkt bruikbaar zijn<sup>18</sup>.

Omdat zulk vakdidactisch onderzoek gericht is op optimalisering van het vakonderwijs, te beschrijven in vakdidactische 'theorieën' die per definitie domeinspecifiek zijn, is *ontwikkelingsonderzoek* de aangewezen methode (Freudenthal, 1991; Gravemeijer, 1994, Lijnse, 1995). Hieronder verstaan we een cyclisch iteratief proces van kleinschalige curriculumontwikkeling, gekoppeld aan onderzoek van het inhoudelijke onderwijsleerproces. Uitgaand van een onderliggende, te expliciteren visie op het vak en op vakonderwijs<sup>19</sup> vindt zulk ontwikkelingsonderzoek in eerste instantie plaats voor een bepaald leerstofdomein, resulterend in wat we een 'didactische structuur' voor dat domein zouden kunnen noemen, of, zo u wilt, een domeinspecifieke onderwijsleertheorie. Door afstemming en vervlechting van zulke didactische (deel)structuren, zou het didactische onderzoek uiteindelijk moeten resulteren in een didactische structuur voor het gehele natuurkundeonderwijs, of liever zelfs nog, door samenwerking met andere  $\beta$ -didactieken, voor het gehele onderwijs in de natuurwetenschappen, van basisschool tot universiteit (of zelfs nog verder zo u wilt). Tegelijkertijd dient op dezelfde wijze aan de ontwikkeling van (vak)didactiekonderwijs gewerkt te worden zodat ook daarvoor empi-

risch ondersteunde didactische structuren kunnen worden geformuleerd (Lijnse, 1992).

Een kernelement in zulk onderzoek is ook de noodzaak van een grondige didactische analyse van de wijze waarop natuurwetenschappelijke kennis en handelen vanuit leefwereldkennis en handelen op voor leerlingen zinvolle wijze kan worden ontwikkeld, met bijzondere aandacht voor (vak)taalvorming (Lijnse, 1990)<sup>20</sup>. Zo'n analyse vraagt trouwens ook om een heroriëntatie op de gebruikelijke rol van de disciplinaire vakstructuur. Deze dient niet zozeer het uitgangspunt te zijn voor de vormgeving van een didactisch proces (zie citaat Stellwag), als wel een (eventueel) na te streven eindpunt.

Aangezien het hier gaat om ontwikkelingsonderzoek, resulteert zulk onderzoek echter, behalve in een didactische structuur, ook in concreet voorbeeldlesmateriaal en in een beschrijving van mogelijke onderwijsscenario's. Daarmee biedt het, althans in principe, de mogelijkheid om juist niet te resulteren in de gebruikelijke theorie-praktijkkloof. Al moeten we helaas erkennen dat we er nog niet altijd in slagen om deze mogelijkheden ook werkelijk te benutten.

Voor het natuurkundedidactisch onderzoek wordt, m.i., een belangrijke stap in deze richting gezet in een serie 'tweede generatie' onderzoeken (zie Klaassen<sup>21</sup>, 1995). Overigens wreekt zich nu mijn beperking tot de natuurkunde-didactiek, omdat ik daardoor geen recht kan doen aan het belang van de samenwerking met vooral de chemie-didactiek in het eerder vermelde onderzoeksprogramma voor de ontwikkeling van deze onderzoeksrichting (Verdonk en Lijnse, 1994; De Jong, e.a., 1995). Ook moet ik in dit verband wijzen op de vruchtbare verwantschap met het werk van Freudenthal en dat van het huidige Freudenthal Instituut (Freudenthal, 1991; Gravemeijer, 1994).

### **7. Het dreigende isolement van $\beta$ -didactisch onderzoek.**

Uit het voorgaande moge blijken dat 30 jaar onderzoek op het gebied van de natuurkundedidactiek nog niet direct geleid heeft tot een empirisch onderbouwde didactiek, noch tot grote verbeteringen in de praktijk. Gezien de geringe omvang en de geschetste diversiteit is dat overigens ook niet verwonderlijk. Ik ben dan ook van mening dat er weliswaar veel vernieuwingen hebben plaatsgevonden in het natuurwetenschappelijk onderwijs, maar dat deze weinig tot niet beïnvloed zijn door (resultaten van) vakdidactisch onderzoek. Dit geldt, naar mijn idee, ook voor de natuurwetenschappelijke didactische discussie in ons land<sup>22</sup>. In die zin is de reken/wiskundedidactiek duidelijk enkele stappen verder ontwikkeld (Vermeulen, e.a., 1995).

Tegelijkertijd heb ik echter de overtuiging dat er wel degelijk een perspectief is ontstaan voor onderzoeksmatige didactische progressie. Als

uitkomst van een pre-paradigmatische fase is dat een uiterst belangrijk resultaat. De vraag wordt dan òf en hoe deze progressie in de toekomst wél kan worden verwezenlijkt.

Helaas zijn de randvoorwaarden voor  $\beta$ -didactisch onderzoek zodanig dat de kansen daarop zeer beperkt zijn, hetgeen, mijns inziens, te maken heeft met de kleinschaligheid en het dreigende structurele isolement van dit onderzoek. Deze kleinschaligheid is natuurlijk aan de ene kant juist het kenmerk van vakdidactiek, waarvoor opsplitsing in vakken nu eenmaal een wezenskenmerk is, maar het resulteert ook in structurele zwakte. De  $\beta$ -didactiek beweegt zich in het moeilijke krachtenveld tussen de vakdisciplines, de onderwijskunde en de onderwijspraktijk, die ieder op hun eigen wijze eisen en verwachtingen formuleren.

De  $\beta$ -disciplines hebben, zoals bekend, over het algemeen weinig op met  $\beta$ -didactisch onderzoek en hebben grote moeite om die activiteit als echt wetenschappelijk te kwalificeren. In ieder geval rekenen zij dit onderzoek niet echt tot hun verantwoordelijkheid, zodat er, bijvoorbeeld, ook geen mogelijkheden zijn voor disciplinaire tweede en/of derde geldstroom financiering. Er wordt dan ook slechts een zeer geringe hoeveelheid menskracht geïnvesteerd.

De onderwijspraktijk vraagt, begrijpelijk, van didactici in eerste instantie ondersteuning voor de oplossing van directe problemen. Iets wat onderzoek op korte termijn meestal niet kan leveren, zodat ook uit die hoek in eerste instantie vaak sceptische of op zijn minst ongeduldige geluiden worden vernomen. Als vakdidactisch onderzoekers zijn we er, zoals al gezegd, tot nu toe veelal onvoldoende in geslaagd om deze spanning tussen dienstbaar zijn voor de praktijk en bijdragen tot wetenschappelijke didactiekontwikkeling goed te reguleren.

Ook de onderwijskunde heeft in het algemeen weinig tot geen oog voor  $\beta$ -didactiek. Althans, voorzover  $\beta$ -didactici claimen iets anders te doen dan toegepaste onderwijskunde. Onderwijskundigen weten vaak niet wat  $\beta$ -didactisch onderzoek eigenlijk inhoudt en kunnen zich meestal niet voorstellen dat er, onderzoeksmatig gezien, nog iets anders nodig zou kunnen zijn dan toepassing van de onderwijskunde<sup>23</sup>. De noodzaak van vakdidactiek wordt vaak wel benadrukt, maar slechts zelden in de zin van een noodzakelijke *wetenschappelijke* activiteit. Een ernstige aanwijzing hiervoor is, bijvoorbeeld, dat de huidige Verkenningcommissie voor het Onderwijsonderzoek in ons land geen aandacht besteedt aan vakdidactisch onderzoek, althans voorzover dat niet onder onderwijskundige vlag opereert. Het betekent bijvoorbeeld ook dat het toekomstige onderzoek dat de herstructurering van de tweede fase moet begeleiden zich, naar ik vrees, uitsluitend op algemene problemen zal focuseren en niet op de cruciale vraag hoe al de fraaie gedachten van de Stuur-

groep zich laten vertalen in vakonderwijs. Het verklaart ook dat er in de reguliere onderwijskundige tweede en derde geldstromen in feite geen ruimte is voor vakdidactisch onderzoek. Ongetwijfeld zal dit ook te maken hebben met het feit dat het noodzakelijke ontwikkelingsonderzoek, zowel qua theorievorming als methodologie, door onderwijskundigen (nog?) niet als echt onderzoek erkend wordt (Vedder en Lodewijcks, 1990; De Jong en Wijers, 1993).

Er doet zich dan ook de paradoxale situatie voor dat alleen vakdidactisch onderzoek dat zich methodologisch en theoretisch binnen algemeen onderwijskundige kaders beweegt, überhaupt een kans maakt voor ondersteuning uit deze geldstromen in aanmerking te komen.

Kortom, we moeten concluderen dat er voor het  $\beta$ -didactisch onderzoek, althans voorzover zich dat begeeft in de door mij bedoelde richting, in de Nederlandse verhoudingen een structureel isolement dreigt, dat eigenlijk voor alle betrokkenen slecht is. Ik meen dat de lange termijn ontwikkeling van zulk onderzoek, zowel voor de  $\beta$ -disciplines zelf, voor de onderwijskunde, als voor de onderwijspraktijk van groot belang is. Het is dan ook noodzakelijk dat het geschetste dreigende isolement in de toekomst doorbroken gaat worden. Suggesties in deze zijn welkom!

## Noten

1. Het is nu eenmaal per definitie zo dat de vakdidacticus in zijn know how beperkt is tot een vak. Anderzijds ligt daarin nu ook juist zijn sterkte. Een en ander laat onverlet dat veel van wat ik zal zeggen zeer sterk beïnvloed is door de samenwerking in het Utrechtse Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen.
2. Het is misschien nuttig om er op te wijzen dat iemand niet 'vakdidacticus' wordt genoemd op grond van een bepaalde hoeveelheid te identificeren know how, of op grond van een bepaalde genoten opleiding, maar in verreweg de meeste gevallen op grond van het feit dat men voor een bepaalde taak is aangesteld bij een instituut voor leraarsopleiding.
3. De "Grote Van Dale" omschrijft didactiek als de kunst van het onderwijzen.
4. Deze ontwikkeling heeft in 1995 een zekere culminatie bereikt in de oprichting van de European Science Education Research Association (ESERA). Een van de problemen bij de oprichting hiervan was juist in hoeverre de continentale 'Fachdidaktik' overeenkomt met de Angelsaksische Science Education Research. Een discussie die alles te maken heeft met het thema van dit nummer. In de Angelsaksische landen is Science Education gewoonlijk ondergebracht in algemene 'Schools of Education', hetgeen er toe leidt dat hun benadering over het algemeen nogal toegepast onderwijskundig van aard is. In 'continental Europe' is vakdidactiek echter veelal organisatorisch ondergebracht bij de vakdisciplines, hetgeen betekent dat de benadering daar over het algemeen veel meer vakgericht is.
5. Dit hield in dat onderzoek gebundeld moest worden in programma's met een behoorlijke minimale onderzoeksomvang, die vijfjaarlijks werden beoordeeld door onafhankelijke commissies op hun programmatische voortgang, internationale positie en onderzoeksoutput.

- Daarnaast is het voor dit artikel van belang om te weten dat, vanwege diezelfde kwaliteitsbewaking, aan de universiteiten geleidelijk de eis is ingevoerd dat 'vaste medewerkers' gepromoveerd dienen te zijn.
6. Vanuit de onderwijspraktijk die, naar ik aanneem, grotendeels onkundig was van deze externe nadruk op onderzoek, heeft dit nog wel eens tot de vraag geleid waarom er nog zo weinig didactici waren die 'echt iets nuttigs' doen voor leraren.
  7. Ook natuurkunde- en scheikundendidactici uit Amsterdam (resp. VU en UvA namen hieraan deel)
  8. Hierbij doet zich trouwens direct het concrete probleem voor welke proefschriften nu wel of niet in deze categorie vallen. Ik zal dit om te beginnen uiterst pragmatisch oplossen. Het moet gaan om onderzoek dat op natuurkunde-onderwijs betrekking heeft, en daarnaast voldoen aan één van de volgende criteria:
    1. uitgevoerd zijn door iemand die zich natuurkunde-didacticus noemt;
    2. en/of dat in een natuurkunde-didactiek groep is uitgevoerd;
    3. en/of waarvan een natuurkunde-didacticus of een natuurkundige (mede) promotor is geweest.
  9. Op dit moment zijn, bij mijn weten, in ieder geval nog zeven natuurkunde-didactische promotie-onderzoeken gaande, die binnen kortere of langere tijd tot afronding zullen komen.
  10. Het onderzoek van Jörg is niet onder te brengen in voorgaande clusters. Het betreft in feite een psychologisch onderzoek naar attitudeontwikkeling t.a.v. natuurkunde-onderwijs.
  11. Het onderzoek van Klaassen wil ik hier kenmerken als een 'tweede generatie' onderzoek. De anderen zou ik om verderop te beschrijven redenen willen benoemen als van de 'eerste generatie'.
  12. In deze onderzoeken zit veelal ook in meer of mindere mate een curriculumcomponent, die verklaarbaar is uit het feit dat ze alle (uitgezonderd Klaassen) zijn voortgekomen uit de PLON-historie.
  13. In het vervolg zal ik betogen dat dit niet het geval is, maar dat deze generalisatie ons eerst brengt bij de didactiek van een vakgebied (natuurkunde), of bij die van een aantal verwante vakken (natuurwetenschappen), om in laatste instantie te eindigen bij een algemene didactiek.
  14. Ook in ons land heeft deze Piagetstroming invloed gehad in de natuurkundendidactiek, maar naar mijn indruk minder dan in de Angelsaksische landen. Waarschijnlijk omdat in ons land toen al sterk het belang van de Russische handelingspsychologie naar voren werd gebracht.
  15. Dit wordt bijvoorbeeld treffend geïllustreerd in het recente "Handbook of Research on Science Teaching". Dit indrukwekkend dikke werk, waarin een goed overzicht wordt gegeven van de Angelsaksische 'science education research' biedt eigenlijk nauwelijks iets wat relevant is voor de onderwijspraktijk.
  16. Naar mijn overtuiging ligt hierin ook de oorzaak van het door Van den Berg (1995) geconstateerde probleem dat kreten als 'constructivisme' de rol van (vak)didactisch wijwater zijn gaan vervullen. Het is de kennelijke vanzelfsprekendheid om in onderzoek uit te gaan van algemene gezichtspunten, zonder dat deze noodzakelijkerwijs gerelateerd (kunnen) worden aan vakdidactische consequenties.
  17. Hieraan ligt, m.i., ook een belangrijk infrastructureel probleem ten grondslag. 'Academisch' onderzoek lijkt nu eenmaal, wil het die naam verdienen, gericht te moeten zijn op theorievorming. En hoe algemener de theorie, hoe hoger zijn status in onderzoeksland.
  18. In dit verband is het wellicht zinvol om er op te wijzen dat veel onderwijskundig onderzoek dat kenmerken van de onderwijspraktijk wil beschrijven, zich in feite veelal richt op didactisch niet geoptimaliseerd, 'slecht' onderwijs (Lijnse, 1994). Dit plaatst op zijn minst een vraagteken bij de daaruit resulterende theorievorming

- 19 Termen die in dit verband gebruikt worden zijn: in de natuur- en scheikundendidactiek: 'probleemstellend onderwijs'; onze biologiecollega's werken aan 'ontwerpend onderwijs', terwijl wiskundendidactici spreken van 'realistisch wiskundeonderwijs'. De relatie tussen deze onderwijsconcepten moet nog nader worden uitgewerkt.
- 20 Dit vertoont duidelijke overeenkomsten met Freudenthal's didactische fenomenologie (Freudenthal, 1991).
- 21 Behalve Klaassen, werken nu ook Vollebregt en Kortland aan een onderzoek in de te beschrijven richting. Vollebregt werkt aan de ontwikkeling van een didactische structuur voor de introductie van deeltjesmodellen (nog steeds een didactisch kernprobleem), en Kortland aan een didactische structuur voor menings- en besluitvorming in NME-natuurkundeonderwijs. In dit laatste onderzoek wordt ook met name aandacht besteed aan de didactische structurering van de relatie tussen kennisontwikkeling en ontwikkeling van (besluitvormings)vaardigheden.
- 22 De opheffing van dit tijdschrift kan als een onderbouwing van deze bewering worden beschouwd.
- 23 In ieder geval wordt er in hun artikelen nauwelijks naar gerefereerd. Zelfs als het gaat om een onderwerp als 'conceptual change in the physical sciences', wat toch juist bij uitstek een verbinding met de  $\beta$ -didactiek zou moeten bieden, ligt het primaat praktisch volledig bij een psychologische benadering (Vosniadou, 1994). Vosniadou schrijft bijvoorbeeld: "The question of how conceptual change is achieved and the specification of the mechanisms that bring it about is one of the fundamental problems of cognitive psychology today. A theory of conceptual change is a prerequisite for any comprehensive account of learning and can have important implications for instruction".

## Literatuur

- Auër, S. (1966). *School. Natuurwetenschap en Maatschappij*. Amsterdam: Meulenhoff.
- Berg, J.S. van den (1983). *Natuurkunde-vraagstukken-oplossen*. Eindhoven: THE.
- Berg, E. van den (1995). Boekbespreking: European Research in Science Education. *Tijdschrift voor Didactiek der  $\beta$ -wetenschappen*, 13, 64-70.
- Bruijn, I. de (1988). *Bijwerken in het begin*. Enschede: UT.
- Driver, R.H. (1988). Changing conceptions. *Tijdschrift voor Didactiek der  $\beta$ -wetenschappen*, 6, 161-198.
- Eijkelfhof, H.M.C. (1990). *Radiation and Risk in Physics Education*. Utrecht: CD- $\beta$  Press.
- Ellermeijer, A.L. (1987). *Differentiatie binnen klasseverband voor natuurkunde in klas 2 van havo-vwo*. Amsterdam: VU.
- Ferguson-Hessler, M. (1989). *Over kennis en kunde in de Fysica*. Eindhoven: TUE.
- Fensham, P., R. Gunstone & R. White (eds.) (1994). *The Content of Science: A constructivist approach to its teaching and learning*. London: Falmer Press.
- Freudenthal, H.F. (1991). *Revisiting Mathematics Education*. Dordrecht: Kluwer.



- Gabel, R.L. (Ed.)(1994). *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. New York: Macmillan.
- Genderen, D. van (1989). *Mechanica-onderwijs in beweging*. Utrecht: W.C.C.
- Gravemeijer, K.P.E. (1994). *Developing Realistic Mathematics Education*. Utrecht: CD-β Press.
- Jong, O. de, P.H. van Roon & W. de Vos (Eds.)(1995). *Perspectives on Research in Chemical Education*. Utrecht: CD-β Press.
- Jong, R. de & M. Wijers (1993). *Ontwikkelingsonderzoek, theorie en praktijk*. Utrecht: NVORWO.
- Jörg, A.G.D. (1994). *De keuze van het vak natuurkunde als examenvak en de wijze waarop dit tot stand komt bij leerlingen in het MAVO en HAVO*. Utrecht
- Karplus, R., R.G. Fuller & J. Renner (1976). *Natuurkunde-onderwijs en de ontwikkeling van het denken*. NVON zomercursus.
- Klaassen, C.W.J.M. (1995). *A problem posing approach to the teaching of radioactivity*. Utrecht: CD-β Press.
- Knoers, A.M.P. (1987). Over leren en onderwijzen. Een tegenwerping. *Pedagogische Studieën*, 64, 90.
- Licht, P. (1982). *Differentiatie binnen klasseverband voor Natuurkunde*. Amsterdam: VU.
- Lijnse, P.L. & H.P.Hooymayers (1987). Natuurkunde-didactiek: een interdiscipline in ontwikkeling? In: I.Mottier & M.J.de Vries (red.) *Vakdidactisch Beraat*, (pp. 101-129), Zoetermeer: A.G.L.
- Lijnse, P.L. (1990). Energy between the lifeworld of pupils and the world of physics, *Science Education*, 74, 571-583.
- Lijnse, P.L. (1994). Boekbespreking: Courseware for an inquiry-based Science Curriculum. *Tijdschrift voor Didactiek der β-wetenschappen*, 12, 150-157.
- Lijnse, P.L. (1995). Developmental Research as a way to an empirically supported 'didactical structure' of Science. *Science Education*, 79, 189-199.
- Lijnse, P.L. (1995). Chemiedidactiek, Natuurkundedidactiek of β-didactiek?. In O.de Jong, P.H.van Roon & W.de Vos (Eds.), *Perspectives on Research in Chemical Education*, (pp. 69-78), Utrecht: CD-β Press.
- Schraag, J.A., E.J. Hendriks & J. van der Rijst (1976). *Toegepaste onderwijskunde voor de natuurwetenschappen*. Groningen: Wolters-Noordhoff.
- Shayer, M. & P. Adey (1981). *Towards a Science of Science Teaching*. London: Heinemann.
- Steller, J.Ph. (1965). *Handigheid of Inzicht*. Utrecht: Pressa Trajectina.

- Taconis, R. (1995). *Understanding Based Problem Solving*. Eindhoven: TUE.
- Vakgroep Natuurkunde-Didactiek (1977). *Didactiek van de Natuurkunde*, RUU.
- Valk, A.E.van der (1992). *Ontwikkeling in Energieonderwijs*. Utrecht: CD-β Press.
- Vedder, P. & J.G.L.C. Lodewijks (1990). β-didactisch onderzoek en SVO. In P.L.Lijnse & W. de Vos (Red.), *Didactiek in Perspectief* (pp. 197-202), Utrecht: CD-β Press.
- Verdonk, A.H. & P.L.Lijnse (1994). Research in Science Education at Utrecht University: an outline. In P.L.Lijnse (Ed.), *European Research in Science Education*, (pp. 149-148), Utrecht: CD-β Press.
- Verkerk, G. (1983). *Het praktikum in het schoolonderzoek natuurkunde*. Apeldoorn: Van Walraven.
- Vermeulen, A., M. Volman & J. Terwel (1995). *Onderwijsvernieuwingen in wiskunde, natuurkunde, scheikunde en biologie*. Amsterdam: SCO/ILO.
- Vosniadou, S. (1994). Guest Editor Special Issue: Conceptual Change in the Physical Sciences. *Learning and Instruction*, 4, 1.
- Vries, M. de (1988). *Techniek in het Natuurkunde-onderwijs*. Eindhoven: TUE.
- Wierstra, R.F.A. (1990). *Natuurkunde-onderwijs tussen leefwereld en vakstructuur*. Utrecht: CD-β Press.
- White, R.T. & R.P. Tisher (1986). Research on natural sciences. In M.C.Wittrock (Ed.), *Handbook of research on Teaching*, New York: Mcmillan.