

Conferentieverslag

I.de Bruyn

Technische Universiteit Twente

Op 27 februari 1987 kwamen een aantal vakdidactici natuurkunde en cognitief psychologen bijeen, teneinde hun gedachten te laten gaan over de problematiek van het 'samenspel' tussen de natuurkunde-didactiek en de cognitieve psychologie. Een schets van enige relevante literatuur was vooraf aan de deelnemers toegestuurd en een viertal inleiders gaf hun visie op dit probleem (zo het al een probleem is).

Dit verslag geeft een indruk van het verloop van dit symposium: de voorbereidende literatuur, de inleidingen en de discussie.

Als de psychologie de vakdidactiek kan ondersteunen, dan is dat wel in de eerste plaats op het gebied van de taakanalyse, de voorspelling van het proces dat de leerling zal doorlopen bij het uitvoeren van de leertaak. Glaser (1976) geeft in dit verband de volgende aanbevelingen:

- a. beschrijf voor het beschouwde vak de leertaken, die levensecht moeten zijn, dus werkelijk zullen voorkomen als men in de praktijk dit vak gebruikt;
- b. analyseer die taken in termen van in de psychologie gangbare begrippen;
- c. bekijk vervolgens, of het hiermee voorspelde leerproces onderwijsbaar is en of de noodzakelijke condities kunnen worden gerealiseerd;
- d. (de vierde aanwijzing van Glaser is in dit verband onbelangrijk).

Een taakanalyse kan derhalve alleen worden gemaakt door een vakspecialist, die psychologie kent of door een psycholoog, die het betreffende vak in voldoende mate beheerst. Dergelijke mensen kunnen worden beschouwd als linking scientists, die een verband weten te leggen tussen de twee wetenschapsgebieden.

In het werk van natuurkundigen, die zich psychologisch hebben georiënteerd, kan men in grte trekken twee stromingen onderscheiden:

- werk aan het probleemoplossen

- werk aan de begrips- en redeneerproblemen (hoewel nog ter discussie kan staan in hoeverre hierbij psychologie wordt gebruikt)

De 'probleemoplossers' houden zich bezig met zaken als heuristieken en algoritmisering. Zij bestuderen het oplossen van enigszins contextloze vraagstukken, klassieke natuurkunde-opgaven van de moeilijker soort. Hierbij spelen formules een belangrijke rol en meestal moeten ook diverse stappen in de oplossing in juiste volgorde worden gezet. Het werk leunt aan tegen de Kunstmatige Intelligentie, niet zelden worden computermodellen gebruikt.

Larkin is een representant van deze stroming. Zij schrijft in 1981:

.... the time is approaching when theoretical advances in the basic science of cognitive psychology will provide profoundly useful input into science instruction, and concurrently, the field of science instruction will provide an ideal applied test bed for these theories. However, currently there is still an enormous gap between the detailed limited theory-based tests we perform in cognitive psychology we perform in cognitive psychology and the broad important tasks adressed by science educators

(onderstreping toegevoegd)

Aan het feit, dat Larkin - van origine fysica - in de voorlaatste zin 'we' schrijft, kan men zien dat zij zich vooral psychologe voelt. Zij is (in 1981) van mening, dat de door haar genoemde kloof op z'n snelst in vijf jaar kan worden overbrugd. Dat hangt onder andere ermee samen, dat de natuurwetenschappelijke problemen zich in semantisch rijke domeinen afspelen en dat daardoor de probleemruimte veel minder duidelijk begrensd is dan bij bijvoorbeeld wiskunde problemen.

De tweede lijn, waarlangs natuurkundigen bemoeienis kunnen krijgen met de cognitieve psychologie, is die van de begrips- en redeneerproblemen, intuïtieve leerlingdenkbeelden of - minder vriendelijk geformuleerd - misconcepties. Het gaat hier om een aantal veronderstelde fysische wetten, die voor het, overgrote deel vanuit de dagelijkse, buitenschoolse ervaring worden gevormd. Zij zijn vaak in tegenspraak met de fysische wetten en zij bemoeilijken door hun resistentie het onderwijs in de natuurkunde.

materiaal, waarmee men deze denkbeelden aantoot, bestaat bijvoorbeeld uit beschrijvingen van alledaagse situaties waarover een vraag wordt gesteld, waar men geen formule bij nodig heeft. Ook nadat de fysische wetten zijn onderwezen blijken leerlingen,

studenten en volwassenen geregeld terug te vallen op de intuïtieve denkbeelden.

Het zou kunnen zijn, dat natuurkundigen iets hebben aan een verklaring van deze verschijnselen in cognitief-psychologische zin. Dit houdt bijvoorbeeld in, dat wordt nagegaan hoe intuïtieve en fysische kennis in het geheugen zijn gerepresenteerd. Men neemt aan, dat beide soorten kennis naast elkaar blijven bestaan (o.a. Solomon, 1983). Het hangt van de omstandigheden af, welk subsysteem in werking wordt gezet.

Driver (1984) legt er de nadruk op, dat het verwerven van nieuwe kennis en actief leerproces moet inhouden. Zij noemt het onderscheid tussen declaratieve en procedurele kennis, zoals we dat o.a. in de theorie van J.R. Anderson tegenkomen, maar doet er niet veel mee. Zoals Hashweh (1986) plausibel maakt, gaat het bijna altijd om procedurele kennis, die in een actief leerproces uit de declaratieve kennis wordt gevormd.

Het is niet zo eenvoudig om onderwijs te geven, dat tot begripsverandering (conceptual change) leidt. Men is algemeen de mening toegedaan, dat zorgvuldig moet worden bekeken hoe op de bestaande (intuïtieve) kennis wordt aangesloten. Di Sessa (1982) gebruikt daarvoor empirische analyse van het intuïtieve kennisbestand van de leerling en baseert op die analyse het instructieontwerp: in dit verband wordt gesproken van

a rich and complex knowledge state that one can use to good advantage in attaining pedagogical aims.

Twee dingen vallen op in deze aanpak. Ten eerste dat de aanwijzing van Glaser wordt opgevolgd, om het leerproces in psychologische zin te duiden. Ten tweede wordt een positieve draai gegeven aan het bestaan van intuïtieve denkbeelden, die door anderen meer als vervelende belemmeringen voor het leren worden gezien. Er kan niet gezegd worden, dat Di Sessa de beste oplossing biedt voor het probleem van begripsveranderend onderwijs, maar het is ook zeker niet de slechtste. Het verschaft een voorbeeld van het gebruik van cognitieve psychologie bij het werk aan begrips- en redeneerproblemen.

Het onderwijs in de natuurwetenschappen heeft zich lange tijd georiënteerd op de psycholoog Piaget (van origine bioloog). Stewart (1985) noemt hem 'this century's most dominant figure in the development of logical thought in children', maar constateert dat de belangstelling duidelijk is afgenomen. Dat heeft een aantal redenen, waaronder het feit dat de stadia van intellectuele ontwikkeling van Piaget meer bekendheid hebben gekregen dan zijn theorie over assimilerend en accommoderend kennis verwerven. Dat laatste is een cognitieve theorie, waarvan de termen in de moderne cognitieve psychologie nog worden gebruikt. Voor het mechanisme

van kennisverwerving wordt echter een meer genuanceerd model noodzakelijk geacht. Volgens Brwn en Desforges (1977) ligt dat eraan dat

'Piagets search for generalities in cognitive development has been unsuccessful and that an approach based on the skill integration model might be more profitable'.

Integratie van vaardigheden staat tegenover het algemeen toepasbaar zijn van vaardigheden. Het betekent zoveel als: vaardigheden niet in algemene zin ontwikkelen, maar altijd in relatie tot een deel van een - vakgebied. Men vertrouwt in deze benadering weinig op transfer van vaardigheden, bij elk nieuw onderwerp moet opnieuw geleerd worden hoe daar de problemen moeten worden aangepakt.

Tot zover de voorgeschiedenis, zoals door de schrijver van dit verslag opgetekend, wellicht met iets meer nadruk op de psychologische dan de vakdidactische zienswijze. Gaan we nu over tot de inleiders, waarvan de eerste twee vanuit de natuurkunde-didactiek hun verhouding tot cognitief-psychologische invalshoeken weer gaven.

Pieter Licht is vooral geïnteresseerd in een strategie, om begrippen in het vakgebied (in het bijzonder het deelgebied electriciteit) te ontwikkelen. In een later stadium zou hij wellicht ook over cognitieve criteria willen beschikken om keuzes te maken welke begrippen het best onderwezen kunnen worden (en: wanneer en hoe). Die strategie zou een verbeterd netwerk van vakdidactische begrippen kunnen aanreiken, te gebruiken bij het plannen en ontwikkelen van onderwijs, gedachtenwisseling met anderen, evaluatie, etc. Uiteindelijk zou zo'n strategie de structuur en sequentiëring van de leerinhoud moeten duidelijk maken, de fasen in het leerproces van de leerling moeten belichten en aanwijzingen moeten geven voor het onderwijsproces van de leraar, alles in relatie tot elkaar. De begrips- en redeneerproblemen zouden in dit kader moeten worden gepast, sterker nog: de strategie zou een oplossing voor die problematiek moeten bieden.

De spreker schetst het beeld van de vakdidacticus, die 'met zijn karretje door de supermarkt van de psychologie gaat'. Daarbij valt het op, dat er weliswaar vuistregels te vinden zijn voor de inrichting van het onderwijs, maar het blijft duister hoe die inrichting in detail moet plaatsvinden. Als bijvoorbeeld het gebruik van analogieën wordt aangeraden, is het onduidelijk onder welke voorwaarden dit tot een goede opbouw van nieuwe kennis leidt. Je zoekt vooral naar theoretische noties, die in een andere setting tot een bruikbare toepassing hebben geleid, waarvan dus het praktisch nut bewezen is. Elementen uit de cognitieve psychologie zijn zeker bruikbaar, zoals een opdelen van de cognitieve structuur in een

begripslaag, een episodische laag etc.; een andere bruikbare aanwijzing is het besteden van aandacht aan handelingen en ervaringen bij het leren van begrippen, het actief laten bewerken van informatie. Het gevaar bestaat echter, dat bij het hanteren van dit soort theorie het ontwerpproces stopt, omdat je te ver van de realiteit van het onderwijs af komt te staan.

Piet Lijnse benadert de vraag wat meer polemiserend. Hij vraagt zich bijvoorbeeld af waarom er een spanningsveld bestaat tussen natuurkunde-didactiek en cognitieve psychologie. Een spanningsveld overigens, dat de cognitieve psychologie nauwelijks kan zien, aangezien er geen plaats wordt ingeruimd voor het vakspecifieke leer- en onderwijsproces. Zo stelt Knoers (1986) bijvoorbeeld:

‘Optimalisering van onderwijsleerprocessen betreft het werkkerrein van de onderwijsleerpsychologie’

terwijl Dijkstra (1986) van mening is dat:

‘De wetenschappelijke kennis die het onderwijspsychologisch onderzoek heeft opgeleverd wordt geacht algemeen geldig te zijn voor de verklaring van het leer- en denkproces’.

Hier tegenover plaatst Lijnse de opvatting van - naar zijn idee- veel vakdidactici, zoals bijvoorbeeld verwoord door Treffers (1986):

‘Algemene onderwijsleertheorieën vormen noch een concrete noch een volledige oriënteringsbasis voor het ontwikkelen van onderwijs.’

Het is niet zo simpel, dat de vakexpert alleen de doelen van het onderwijs hoeft te omschrijven opdat de onderwijspsycholoog vervolgens aangeeft hoe het onderwijsproces moet worden ingericht om deze doelen te bereiken. Daarvoor zijn de theorieën waarover de psycholoog kan beschikken te grofstoffelijk van aard. Als Knoers (1986) bijvoorbeeld zegt dat het ‘vakdomeinspecifieke’ niet in de aard van de leerprocessen ligt, maar op de nadruk die op verschillende leerprocessen wordt gelegd, dan mag hij vanuit verklarend theoretisch perspectief gelijk hebben. Als hij dit echter concludeert op grond van het verschil in aandacht dat verschillende vakken geven aan bekwaamheden als abstract redeneren, verbaal omschrijven en probleem-oplossen, dan wordt duidelijk dat dit perspectief nauwelijks tot concrete aanwijzingen komt, bijvoorbeeld voor een stukje natuurkundeonderwijs rond het energiebegrip. Maar het is wel op dit concrete niveau, dat de vakdidactiek de vragen stelt. Voor de beantwoording daarvan is het relevant het concrete onderwijs te onderzoeken, en de ideeën van leerlingen na te gaan, om op grond daarvan nieuw onderwijs te ontwikkelen. Wellicht kan op grond hiervan een vakdidactische theorie over het onderwijzen en het leren van bijvoorbeeld het energiebegrip ontstaan. Generalisaties van dergelijke vakdidactische theorie zouden dan

ingepast kunnen worden in een meer algemene leer- en onderwijstheorie, die dan ook nog overeenkomst kan vertonen met de cognitieve psychologie. Per slot van rekening is natuurkunde leren ook een vorm van informatieverwerking.

Voor de vakdidactische inpasbaarheid zal echter altijd inhoudelijke vulling van een leertheorie essentieel zijn. Zolang de cognitieve psychologie hieraan niet voldoet zal, volgens Lijnse, haar toepasbaarheid voor de vakdidactiek problematisch blijven.

Vervolgens komen een tweetal psychologen aan het woord. Beiden hebben een theorie in de aanbieding en proberen duidelijk te maken dat de vakdidactiek daar iets aan zou kunnen hebben.

Jeroen van Merriënboer geeft een, noodzakelijk summier, overzicht van het ACT-model van John R. Anderson (1983). ACT staat voor Adaptive Control of Thought: Het is een theorie omtrent het leren van complexe cognitieve vaardigheden. (b.v. oplossen van vraagstukken, bewijsvoering in de wiskunde, leren van taal). Centraal staat in het model het onderscheid tussen declaratieve kennis (weten WAT) en procedurele kennis (weten HOE). Alle nieuwe kennis, zoals door instructie aangeboden, krijgt oorspronkelijk een declaratieve vorm. Slechts door middel van oefening kan dit worden omgezet in procedurele vorm. Het model beschrijft verder gedetailleerd

- a. hoe declaratieve kennis gestructureerd kan worden
- b. hoe declaratieve kennis kan worden omgezet in procedurele kennis
- c. hoe procedurele kennis verfijnd kan worden

De theorie geeft uiteraard vuistregels voor inrichting van de instructie. Zo doet de theorie (beter) beseffen, dat de tijd benodigd voor het ontwikkelen van complexe vaardigheden verre de tijd voor de initiële instructie overtreft. In de praktijk zijn er ook voorbeelden van meer gedetailleerde prescripties ontwikkeld:

- ad.a. declaratieve kennis is vaak sterk georganiseerde schematische kennis; door gebruik van geannoteerde voorbeelden kan men de vorming van schema's versnellen, bijvoorbeeld door expliciet aan te geven welke delen van een oplossing constant zijn voor een klasse van problemen, en welke variabel.
- ad.b. het is van groot belang om te bepalen welke kennis of vaardigheid geproceduraliseerd moet worden en welke niet: èènmaal geproceduraliseerde kennis is veel moeilijker te wijzigen dan declaratieve kennis en complexe vaardigheden kunnen pas goed geleerd worden als deelvaardigheden reeds geproceduraliseerd zijn.
- ad.c. ACT beschrijft het probleem-oplosgedrag van leerlingen als het toepassen van procedurele kennis, waarbij gebruik

gemaakt wordt van declaratieve kennis. Verschillende planningsstrategieën kunnen ondercheiden worden, bijvoorbeeld kan men beschrijven hoe 'de probleemaanpak' van novices afwijkt van die van experts. Deze beschrijving is een aanzet tot ontwerp van een instructie, die het leren van gewenst oplosgedrag versnelt. Op zichzelf levert de theorie ook aanwijzingen, hoe in het procedurele stadium moet worden doorgetraind, opdat het probleemoplosgedrag versneld wordt.

De grootste mate van detaillering wordt met ACT bereikt, als men van cognitieve processen uit een vakgebied een computersimulatie maakt. Indien de simulatie tot een bepaalde klasse van probleemoplossingen komt, is althans de consistentie van het ontworpen systeem bewezen en heeft men een basis voor een beschrijving hoe het leerproces kan verlopen.

Door Sanne Dijkstra wordt aangevoerd, hoe de instructie-psychologie tot ontwikkeling is gekomen onder gebruikmaking van vakdidactische 'hulp'. Als voorbeeld noemt hij de prestatie-inhoudmatrix van Merrill (1983). Deze houdt een rangschikking van leerdoelen in op de dimensie.

Feiten - Concepten - Principes - Procedures
en tevens op de daarmee 'gekruiste' dimensie

Herinneren - Toepassen - Ontwikkelen.

Beide dimensies hebben een psychologische betekenis, hoewel met name de eerste dimensie mede vraagt om een sequentering vanuit het vak (wat volgt fysisch op wat?). De vraag is, hoe begrippen, principes en procedures het best geïntegreerd onderwezen kunnen worden. De tweede dimensie geeft meer aan, wat de leerlingen doen, of wat we ze laten doen. Een activiteit als 'ontwikkelen' verwijst naar het zelfstandig vinden van een nieuw feit, concept, principe of procedure, waarvoor nog niet eerder een omschrijving was gegeven.

Per categorie, op beide dimensies, zijn er prescripties te geven over de inrichting van de instructie. Zo zal men bijvoorbeeld voor het leren van principes in de natuurwetenschappen het bijbehorende experiment moeten doen, tenminste in gedachten. Om een principe te kunnen ontwikkelen zal men de eraan ten grondslag liggende principes moeten kunnen toepassen, etc. Er zijn dus verbanden en wetmatigheden in de matrix aan te geven, die psychologisch te duiden zijn. Vanuit de wiskunde zijn er voorbeelden aan te wijzen, waar deze ordening richting geeft aan de inrichting van de instructie. De indruk bestaat, dat sterk geformaliseerde begrippen uit de natuurkunde alleen kunnen worden beheerst, als er al een mathematisch fundament is: dat fundament moet volledig zijn

geproceduraliseerd, moet dus blindelings kunnen worden uitgevoerd (zie ook Dijkstra, 1986).

In de discussie wordt de vraag aangesneden, wat nu eigenlijk een fysisch begrip is, of het los staat van vaardigheden, of het wel in de modellen past. De matrix van Merrill vereist dat men aangeeft, per type begrip, hoe men kan zien dat het wordt beheerst. Dat blijkt met een begrip als massa nog niet zo eenvoudig te zijn, zelfs Einstein heeft verklaard dat hij het eigenlijk niet begreep maar er wel mee kon rekenen en redeneren. Operationeel kan men zulke moeilijke begrippen definiëren door de wijze waarop ze worden gemeten, of hoe ze worden berekend. In de matrix komen we dan uit bij procedures. In het ACT-model is het lastiger te plaatsen. Er is een declaratieve component (bij Einstein onvoldoende ingebed, hij 'begrijpt het niet') en een procedurele component (bij Einstein volledig ontwikkeld, hij kan het begrip uitstekend gebruiken). Het is wel duidelijk, dat een fysisch begrip iets anders is dan een 'concept' van een psycholoog, waarbij het gaat om een ordening van objecten op kenmerken. Het begrip 'kraai' is daardoor veel simpeler dan een fysisch begrip.

Een tweede punt van discussie gaat over de gelaagdheid in de kennis en begrippen. Volgens ACT is er in het declaratief kennisbestand een netwerkstructuur, een hiërarchie als concreet-abstract is hierin niet eenvoudig te onderscheiden. Het procedureel bestand is echter zeer duidelijk ordenbaar in algemene, minder vakgebonden, en specifieke vakgebonden procedures. De ordening in de matrix van Merrill geldt alleen voor taxonomische begrippen, maar niet voor begrippen als energie en massa. Hoewel de indruk bestaat, dat de ontwikkeling van nieuwe fysische begrippen begint met het kennen van feiten, is er niet veel algemeen te zeggen over de volgorde waarin concepten, principes en procedures worden geleerd.

Mag ik besluiten met mijn eigen conclusie over het nut van een gedachtenwisseling als deze:

Voor natuurkunde-didactici is het uitermate zinvol van tijd tot tijd van gedachten te wisselen met psychologen, die vanuit hun professie een bepaald licht kunnen laten schijnen op het leerproces bij het vak natuurkunde. Men moet echter niet de verwachting hebben, dat er kant en klare recepten voor de oplossing van problemen worden aangedragen vanuit de psychologie. In de discussie zal men juist weer geconfronteerd worden met de weerbarstigheid van het geheel: Onderwijs inrichten blijft moeilijk en wijsheid op dit gebied is niet in een notedop op te dienen.

Voor de psychologen lijkt het me ook zeer goed bovengenoemde weerbarstigheid aan een vakdidactiek te ervaren. De confrontatie van psychologische modellen met de praktijk, zoals dat bij

vakdidactisch onderzoek en theorievorming plaatsvindt, zal heilzaam werken.

Literatuur

- Anderson, J.R. **The architecture of cognition**, Cambridge: Harvard University Press, 1983.
- Brown, G. & Desforjes, C. Piagetian psychology and education: Time for revision, **British J.Educ.Psych**, **47**, 7-17, 1977.
- Dijkstra, S. Het curriculum in onderwijskundig en maatschappelijk perspectief. In: J.S. ten Brinke, H.P.Hooymayers en G.Kanselaar (Eds.). **Vakdidactiek en informatietechnologie in curriculumontwikkeling**, Lisse: Swets en Zeitlinger, 1986.
- Di Sessa, A. Unlearning Aristotelian Physics: A study of knowledge based learning, **Cogn.Science**, **6**, 37-75, 1982.
- Driver, R. Cognitive psychology and pupils' frameworks in mechanics. In: P.L.Lijnse (Ed.). **The many faces of teaching and learning mechanics**, Utrecht: W.C.C., 1984.
- Glaser, R. Cognitive psychology and instructional design. In: D.Klahr (Ed.). **Cognition and Instruction**, Hillsdale NJ: Erlbaum, 1976.
- Hashweh, M.Z. Toward an explanation of conceptual change, **Eur.J.Sci.Educ.**, **8**, 229-249, 1986.
- Knoers, A.M.P. Curriculum en leertheorie, **Ped.Studien**, **63**, 195-204, 1986.
- Larkin, J.H. Cognition of learning physics, **Am.J.Phys.**, **49**, 534-541, 1981.
- Lijnse, P.L. Energie tussen leefwereld en vakstructuur. In: J.S.ten Brinke, H.P.Hooymayers en G.Kanselaar (Eds.): **Vakdidactiek en informatietechnologie in curriculumontwikkeling**, Lisse: Swets en Zeitlinger, 1986.
- Merrill, M.D. Component display theory. In: C.M.Reigeluth (Ed.). **Instructional design theories and models**, Hillsdale NJ: Erlbaum, 1983.
- Solomon, J. Learning about energy, how pupils think in two domains, **Eur.J.Sci.Educ.**, **5**, 49-59, 1983.
- Stewart, J. Cognitive science and science education, **Eur.J.Sci.Educ.**, **7**, 1-17, 1985.
- Treffers, A.J. Analyseren en ontwikkelen van rekenwiskundeonderwijs vanuit twee verschillende basisconcepties, **Ped.Studien**, **63**, 14-26, 1986.