

Het belang van probleemoplossen voor het onderwijs in technische en exacte vakken

R. Taconis en M. Ferguson-Hessler
Instituut voor de Lerarenopleiding (ILO)
Universiteit van Amsterdam &
Vakgroep Didactiek Natuurkunde
Technische Universiteit Eindhoven

Summary

Problem solving is an important theme in contemporary education and educational research. Its significance for education in technical and scientific subjects is explored. This is done by a characterisation of: (a) the current research paradigm's in the Netherlands, (b) the role of problem solving in Dutch educational practice, (c) the potential of problem solving for education, and (d) the relations of problem solving to other dominant themes in Dutch education and educational research: understanding (including prior knowledge), contexts, and enhancing learning capabilities. It is concluded that further exploration of the relations between problem solving, understanding, and learning, will yield a useful and more complete picture of cognitive aspects in the teaching and learning of science and physics. Schema-theories provide a good basis for such an integrated educational approach.

Inleiding

In deze bijdrage aan het themanummer over probleemoplossingsvaardigheden in de β -vakken zullen we het belang van probleemoplossen voor het middelbaar en hoger onderwijs en met name voor het daar gegeven natuurkunde onderwijs onderzoeken.

Ter voorbereiding hiervan bespreken we wat onder probleemoplossen kan/moet worden verstaan, en hoe de centrale begrippen gedefinieerd kunnen worden. Daarna geven we een overzicht van de actuele thema's in de praktijk van, en het onderzoek naar het (natuurkunde) onderwijs. We zullen dan ingaan op de consequenties van een actuele eis die aan het onderwijs wordt gesteld: een goede aansluiting van voortgezet op hoger onderwijs. Daarbij spelen probleemoplossingsvaardigheden, studievaardigheden en begrip een belangrijke rol.

Wij zullen daarom in het bijzonder ingaan op de rol die probleemoplossen kan spelen in het leerproces, en bij de begripsontwikkeling in het bijzonder. Daarnaast zal de betekenis van contexten kort ter sprake komen. Tenslotte bepleiten wij - mede ten behoeve van een betere aansluiting - een geïntegreerde benadering van probleemoplossen, begripsontwikkeling, contexten en studievaardigheden. Een schema-theoretische benadering biedt hiertoe ons inziens de beste basis.

1. Visies op problemen en probleemoplossen

1.1 Karakterisering van problemen

Er bestaan talrijke definities van probleemoplossen. Wij hebben gekozen voor een algemene en brede definitie van het begrip probleem door Duncker en Davis (1973) zoals geciteerd in Prawat (1989, p. 16): *'A problem can be defined as a situation where one has a good idea about what should be accomplished, but no clear idea about how to go about to accomplish it'*. Dit is een persoons- en tijdgebonden definitie: of een opdracht een probleem is of niet, hangt af zowel van de inhoud als van de capaciteiten van de oplosser op dat moment. Dit leidt er toe dat in de praktijk onderscheid moet worden gemaakt tussen problemen en standaardopgaven (waar niet naar de oplossing gezocht hoeft te worden), waarbij tussen bijvoorbeeld leerlingen van één klas zodanige verschillen kunnen bestaan dat wat een probleem is voor de een, voor de ander een standaardopgave is.

Er bestaan verschillende manieren om problemen te classificeren (De Jong, 1986; Mettes & Gerritsma, 1986). Zo wordt er bijvoorbeeld gesproken van 'puzzel-problemen', 'ontwerp problemen', 'goed-gedefinieerde problemen', 'open problemen', 'transformatie problemen', 'identificatie problemen', etc. Bij de meeste van deze classificaties zijn de grenzen van de klassen slechts bij benadering aan te geven. Bovendien overlappen de klassen elkaar. Zo zijn 'identificatie-problemen' voorbeelden van 'goed-gedefinieerde problemen'. Het lijkt dan ook aanbevelenswaardig om problemen in te delen langs enkele assen met continu verlopende eigenschappen. Wij onderscheiden in dit verband vier dimensies die in eerste benadering als onafhankelijk kunnen worden beschouwd.

Ten eerste kunnen problemen worden ingedeeld langs een continuüm dat loopt van *'well-defined'* naar *'ill-defined'*. Aan de ene kant vinden we dan problemen met een volledig beschreven probleemsituatie, inclusief een specifieke vraagstelling. Aan de andere kant vinden we problemen waarin specificaties ontbreken. De probleemoplosser moet dan bijvoorbeeld zelf bepaalde interpretaties of benaderingen maken. Soms ook moet de probleemoplosser zelf een abstract model van het probleem maken.

Veel opgaven uit het voortgezet onderwijs bevinden zich aan het 'well-defined' uiteinde van de schaal.

Een tweede dimensie loopt van 'gesloten' naar 'open' problemen. Als 'gesloten' problemen, classificeren wij problemen waarbij er maar één enkele correcte oplossing bestaat. Hierbij doelen we niet op het oplossingsproces, maar op het produkt daarvan. Bij open problemen zijn er meerdere of oneindig veel oplossingen en oplossingswegen, alhoewel sommige daarvan vanuit verschillende perspectieven als superieur kunnen worden beschouwd (bijvoorbeeld: nauwkeuriger, sneller, eleganter of beter te volgen voor leerlingen). Ontwerp-problemen zullen in de regel open problemen zijn.

Ten derde kunnen problemen geordend worden naar de mate waarin zij *kennis van een vak-domein vereisen*. Aan het ene uiteinde van deze schaal bevinden zich 'puzzels' die met name vaardigheden in het redeneren vereisen maar nauwelijks een beroep doen op vakkennis. Eindexamen problemen bevinden zich soms aan het andere uiteinde van de schaal. Deze opgaven hebben juist het testen van het vermogen om vakkennis toe te passen tot doel (Taconis, Stevens en Ferguson-Hessler, 1992).

Een vierde dimensie waarlangs we problemen kunnen indelen betreft de *aard van de probleembeschrijving*. De probleembeschrijving kan zich beperken tot theoretische en abstracte begrippen en 'objecten' (bijvoorbeeld puntmassa), maar kan ook refereren aan een concrete situatie, bijvoorbeeld een alledaagse of professionele situatie. In dat laatste geval wordt gesproken van de *context* van het probleem (Van Genderen, 1989). Waarschijnlijk beïnvloedt zo'n context het probleemoplossingsproces, en bij gebruik van zogenaamde contextrijke problemen is dat meestal ook de bedoeling (Van Genderen, 1989). Desalniettemin moet worden vastgesteld dat momenteel nog relatief weinig bekend is over de implicaties van zo'n context voor de cognitieve processen.

1.2 Psychologische onderzoeksparadigma's ten aanzien van probleemoplossen

Psychologisch georiënteerd onderzoek naar probleemoplossen kent een lange traditie waarin verschillende onderzoeksparadigma's zijn gehanteerd. De Jong (1986) onderscheidt het behavioristische paradigma, het psychometrische paradigma, en het informatie-verwerkingsparadigma. Omdat wij (uiteindelijk) voor dat laatste kiezen, zullen we er dieper op ingaan. Overigens zijn er binnen dit paradigma weer verschillende benaderingen te onderscheiden.

Newell & Simon - de grondleggers van het informatie-verwerkingsparadigma - definiëren een probleem als volgt (geciteerd uit Prawat, 1989, p.16): *'A person is confronted with a problem when he wants something and does not know immediately what series of actions he can perform to get it'*.

Bij vergelijking met de bovengenoemde definitie van Davis & Duncker, valt op dat in de definitie van Newell & Simon gebruik wordt gemaakt van het beeld dat het probleemoplossingsproces uit een serie van handelingen bestaat, waarin het probleem als het ware van de ene toestand in een volgende wordt getransformeerd net zo lang tot het in een opgelost probleem is omgezet. De meeste onderzoekers ondersteunen deze stapsgewijze benadering (engels: *stage theories*). Overigens wordt meestal nog een andere - regulatieve - dimensie aan deze beschrijving toegevoegd. Het betreft hier metacognitieve vaardigheden, zoals het tussentijds nagaan 'of men nog wel op de goede weg is', en 'het zondig bijsturen van het oplossingsproces'. Op deze vaardigheden zullen wij in het vervolg van dit artikel niet verder ingaan.

Ten aanzien van het probleemoplossingsproces worden doorgaans vier fasen onderscheiden: analyse, planning, uitwerking en controle (zie bijvoorbeeld Reif, Larkin & Bracket, 1976). Het gaat hier om een *descriptieve benadering* van het proces van oplossen van een probleem.

Didactische aanwijzingen die uit dit type modellen van het probleemoplossen volgen, zijn vooral gericht op het expliciteren van activiteiten als analyse en planning, die door de docent vaak automatisch worden uitgevoerd en daardoor niet expliciet onderwezen. In hun befaamde proefschrift 'Over het leren oplossen van natuurwetenschappelijke problemen' borduren Mettes en Pilot (1980) voort op de 'stage theories' door het zogenaamde 'gewenst handlingsverloop' (GHV) te introduceren. Het GHV is een opeenvolging van oplossingsstappen met ingebouwde iteratieve lussen. We hebben hier te maken met een *normatief concept*, dat als onderwijsdoel wordt voorgesteld. Een systematisch probleemoplossingsproces wordt gezien als kenmerkend voor goede probleemoplossers, terwijl een chaotische werkwijze als een belangrijke oorzaak van het falen van zwakke probleemoplossers wordt gezien (Mettes, Pilot, Roossink, De Jong & Kramers-Pals, 1980/81).

In de jaren tachtig heeft een tweede groep van informatie-verwerkingsmodellen van het probleemoplossingsproces internationaal opgang gemaakt, met name door het werk van Chi en collegae (Chi, Feltovich & Glaser, 1981). Nederlandse onderzoekers uit deze hoek zijn: De Jong (1986) en Ferguson-Hessler (1989). Kenmerkend voor deze modellen, die we hier verder als '*expertise modellen*' zullen aanduiden, is de nadruk op de rol van domeinkennis in het oplossingsproces.

De verschillende cognitieve activiteiten zijn immers voor een groot gedeelte gericht op elementen van deze kennis, of werken er mee. Ook in expertise modellen kan de term 'vaardigheid' worden gehanteerd. Daarbij wordt dan echter het inzichtsvol kunnen handelen met kennis als onlosmakelijk onderdeel daarvan beschouwd.

Wijzelf verstaan onder 'vaardigheid' de mate van beheersing van een bepaalde cognitieve activiteit die een individu op een bepaald moment bezit. Zulke activiteiten vereisen kennis. Het kan hierbij gaan om activiteiten die bijvoorbeeld met een hele fase van het probleemoplossingsproces corresponderen en een breed toepassingsdomein hebben (bijvoorbeeld 'het analyseren van een probleem'), maar ook om specifieke activiteiten die aan een bepaald type probleem of kennis-domein gebonden zijn (bijvoorbeeld het tekenen van een krachtendiagram). Sommige onderzoekers vermijden het gebruik van de term vaardigheid omdat zij de suggestie willen vermijden dat bij inzichteloos maar succesvol handelen van vaardigheid sprake zou zijn.

Er is veel discussie gevoerd over de relatie tussen algemene en domeinspecifieke probleemoplossingsvaardigheden, en over de vraag of algemene vaardigheden überhaupt bestaan (zie bijvoorbeeld Perkins & Salomon, 1989). Wij stellen voor om bij het onderscheiden van een algemene van een domeinspecifieke vaardigheid drie aspecten van het algemeen of domein-gebonden zijn in ogenschouw te nemen:

- a. de activiteit zelf,
- b. de kennis die voor het uitvoeren van de activiteit nodig is en
- c. de diversiteit van de situaties die in het geheugen met de toepasbaarheid van de activiteit zijn geassocieerd.

Perkins & Salomon (1989) vergelijken een vaardigheid met een 'gripping device'. De activiteit kan in zich een algemeen karakter hebben, maar deze is alleen bruikbaar als er iets (kennis) is om te 'grijpen'. Het 'analyseren van een probleem' kan alleen succesvol zijn als voldoende vak-kennis beschikbaar is om de gegeven informatie te herkennen en te interpreteren.

Daarnaast zal een qua kennis en handelingsstructuur algemene cognitieve activiteit, door een probleemoplosser vaak niet als toepasbaar worden herkend buiten het domein waarin deze activiteit tot dan toe vruchtbaar bleek. Hier kan van een gebrek aan transfer worden gesproken. Dit kan te maken hebben met een gebrekkige integratie met kennis van toepassingsituaties zoals in de volgende paragraaf zal worden toegelicht.

In expertise modellen wordt de aandacht met name gericht op de voor het probleemoplossen benodigde kennis van het vakdomein (de kennisbasis). Succes bij het probleemoplossen wordt in deze benadering verondersteld voort te komen uit een geslaagde verwerking van de uit het probleem afkomstige informatie in *samenhang* met de relevante vakkennis tot een interne representatie (mentaal model) van het probleem. Verdere oplossingsactiviteiten opereren op deze interne probleemrepresentatie, waarvan de kwaliteit dus doorslaggevend is voor alle verdere activiteiten.

Om het construeren van een goede interne probleemrepresentatie mogelijk te maken, dient de kennisbasis een aantal kenmerken te bezitten. Ten aanzien van de inhoud worden vier categorieën van kennis onderscheiden. Binnen ieder daarvan dient de voor het probleem relevante kennis aanwezig te zijn. Deze categorieën zijn (Ferguson-Hessler, 1989): *declaratieve kennis* (definities, feiten en formules), *procedurele kennis* (werkwijzen betreffende de declaratieve kennis), *situationele kennis* (kennis betreffende de situatiemarken die de relevantie en geldigheid van de declaratieve kennis bepalen) en *strategische kennis* (kennis over de fasen van het probleemoplossingsproces).

Naast de inhoud, is ook een goede *structuur* van de kennisbasis essentieel voor het probleemoplossen, met name het bestaan van hechte samenhangen tussen situationele kennis enerzijds en relevante declaratieve en procedurele kennis anderzijds (Taconis, in voorbereiding a; Taconis & Ferguson-Hessler, 1993a). Bij een goede probleemoplosser zijn bijbehorende kenniselementen in het geheugen hecht aan elkaar verbonden en vormen zogenaamde probleemschemata, waarin alle elementen van kennis aanwezig zijn die voor het oplossen van een bepaald type probleem relevant zijn (Chi, Feltovich & Glaser, 1981; Ferguson-Hessler & De Jong, 1987). Gebrek aan transfer van een vaardigheid kan ontstaan als aan de declaratieve en procedurele kennis te weinig - of te specifieke - situationele kennis is verbonden, of wanneer deze verbindingen onvoldoende hecht zijn.

Het concept 'schema' is echter breder toepasbaar. Ingevoerd als een beschrijving van de structuur van kennis in het geheugen, worden schemata ook gebruikt om het functioneren van kennis in andere vormen van informatieverwerking te beschrijven. Een schema kan worden omschreven als 'een functioneel pakket van kennis in het geheugen' (Taconis, 1993a). De inhoud van een schema kan worden beschreven in de vorm van een semantisch netwerk (Rumelhart en Norman (1973, 1981). Rumelhart en Norman (1973, 1981) en Alba en Hasher (1983) hebben het functioneren van schemata in leren, selecteren van relevante informatie, en interpreteren en aanvullen van aangeboden informatie beschreven. In veel gevallen kunnen schemata ook worden opgevat als generieke mentale modellen, die in het geheugen als het ware klaar liggen om actief te worden zodra zich een passende situatie voordoet (Brewer, 1987; van Oers, 1988). Deze geven voor een grotere of kleinere klasse van situaties, de gemeenschappelijke elementen en hun belangrijkste onderlinge relaties weer. Daardoor kan zo'n schema tot een zeker inzicht in zulke situaties leiden, en vormen zij een basis voor de cognitieve activiteiten die in de betreffende situaties relevant zijn. Bij probleemschemata zijn dat algemene oplossingsactiviteiten, zoals analyse, planning en uitwerking, of domein specifieke oplossingsactiviteiten zoals 'het tekenen van een krachtendiagram'.

Momenteel tekent zich een derde groep informatie-verwerkingsmodellen af: de z.g. *connectionistische modellen*. Sequentiële of cyclische opvattingen van het probleemoplossingsproces kunnen worden verondersteld computerprogramma's als metafoor voor het probleemoplossingsproces te benutten. Bij connectionistische modellen van het probleemoplossingsproces wordt de parallel gedistribueerde informatieverwerking zoals die plaats vindt in neurale netwerken als metafoor voor het probleemoplossingsproces benut (Bechtel & Abrahamson, 1991; Elshout, 1987). In neurale netwerken zijn een groot aantal units opgenomen die informatie aan elkaar doorgeven. Dit is vergelijkbaar met de zenuwcellen en hun verbindingen in het menselijk brein. Door het patroon van de onderlinge verbindingen, die in sterkte kunnen variëren, ligt in het netwerk als geheel 'kennis' opgeslagen over bijvoorbeeld de samenhangen tussen de 'waargenomen probleemsituaties' en 'het toepasselijke natuurkundige concept'. De binnenkomende informatie wordt door het totale netwerk verwerkt (Rumelhart, Smolensky, McClelland, & Hinton, 1986). Daarbij kan de informatie gelijktijdig langs verschillende wegen en op verschillende niveaus worden verwerkt. Een probleem over het op gang houden van een voortrollende auto kan tegelijk worden geïnterpreteerd als een 'probleem over een bewegende puntmassa' en als 'iets waar kracht/inspanning voor nodig is' wat kan leiden tot concurrerende oplossingsuggesties.

Neurale netwerken hebben het vermogen om te leren door ervaring: als een bepaalde verbinding een aantal keren is gemaakt, wordt deze steeds verder versterkt, en wordt het leggen van deze verbinding steeds makkelijker. Het netwerk heeft dan geleerd hoe het op een bepaalde invoer moet reageren. In deze benadering is de ervaringsbasis juist het kenmerk van expertgedrag bij probleemoplossen. Instructietheorieën die op connectionistische modellen gebaseerd zijn staan nog in de kinderschoenen. Toch kan men heel algemeen stellen dat het aanbieden van mogelijkheden om ervaring met probleemoplossen op te doen, en expliciet te verwerken, bevorderlijk is voor het verwerven van de relevante vaardigheden. Deze conclusies liggen in lijn met de richtlijnen voor instructie die uit expertise modellen af te leiden zijn.

1.3 Onderwijs-georiënteerde benaderingen van probleemoplossen en kennisverwerving

Bij de bespreking van huidige psychologische benaderingswijzen van het probleemoplossen hebben we enkele conclusies getrokken over hun betekenis voor het onderwijs. Hier zullen wij nader ingaan op enkele instructietheorieën die ontwikkeld zijn vanuit het doel om vaardigheden in probleemoplossen te onderwijzen. Omdat we probleemoplossen en begripsontwikkeling met elkaar in verband willen brengen, zullen we ook aandacht besteden aan instructietheorieën gericht op kennisverwerving en begripsontwikkeling.

Dominant in de praktijk van het probleemoplossingsonderwijs in Nederland is momenteel de SPA-aanpak (= Systematische Probleem Aanpak: Mettes & Pilot, 1980) van het probleemoplossen. Deze aanpak heeft zijn wortels enerzijds in de hierboven genoemde informatieverwerkingstheorie van Newell en Simon (1972), en anderzijds in de zogenaamde handelingspsychologie.

Deze handelingspsychologie is met name door Van Parreren (Wijdeveld, Jaanus & Van Hoorn, 1990) ontwikkeld op basis van de zogenaamde cultuurhistorische onderwijsbenadering zoals die in de voormalige Sovjet-Unie door onder andere Vygotskij is ontwikkeld (Van Oers, 1987).

Een belangrijk principe uit de handelingspsychologie is dat van de interiorisatie (Boekaerts & Simons, 1993) volgens welke het onderwijsleerproces wordt ingericht. Eerst worden de bij een bepaalde cognitieve activiteit (b.v. rekenen) behorende handelingen uitwendig uitgevoerd: bijvoorbeeld optellen op de vingers. Daarna kan de handeling hardop denkend worden uitgevoerd: bijvoorbeeld hardop rekenen. Tenslotte kan dit achterwege blijven en kan de mentale handeling als zodanig worden geoefend.

Bij de SPA-methode voor het onderwijzen van probleemoplossingsvaardigheden (Mettes & Pilot, 1980) wordt een heuristiek aangeboden als middel om uiteindelijk tot zelfstandig en zelfgestuurd probleemoplossen te komen. Oefening volgens de door de handelingspsychologie voorgestelde fasen is een basis-ingrediënt van de SPA-methode. Uiteindelijk kan een interiorisatie van de stapsgewijze aanpak volgen.

Internationaal zijn andere instructietheorieën ontwikkeld. Belangrijk is het constructivisme (Driver, 1985) waaraan ook in Nederland aandacht wordt besteed, onder andere in de β -didactiek (Lijnse, 1992). In het constructivisme wordt het belang benadrukt van de constructie van nieuwe kennis op basis van voorkennis door betekenisverlening en het vormen van begrip. In deze visie wordt kennisverwerving niet opgevat als een proces van absorptie van informatie, maar als een constructieproces. Leren kan in deze benadering worden opgevat als een zoektocht waarbij betekenis wordt gegeven en een steeds uitgebreider begrip wordt geconstrueerd. Soms wordt het sociale karakter van dit proces benadrukt (Klaassen, 1994).

Alhoewel de naam 'constructivisme' anders doet vermoeden, is het niet de gedachte dat leren door kennisconstructie gebeurt, die het constructivisme van andere stromingen onderscheidt. De gedachte dat nieuwe kennis wordt verworven door constructie gebaseerd op al aanwezige kennis is in kringen van psychologen vrijwel algemeen aanvaard. Ook de gedachte dat leren kan worden opgevat als een worsteling om tot begrip te komen wordt breder aanvaard (Gick, 1986). Het constructivisme onderscheidt zich met name van andere stromingen door zijn vergaande conclusies over het onderwijs. Men stelt dat in het onderwijs moet worden uitgegaan van de persoonlijke

voorkennis en de persoonlijke denkbeelden van de leerlingen. Het onderwijs-leerproces dient dus te worden vormgegeven als een persoonlijk ontwikkelingsproces, eventueel in sociale context. Bij zulk onderwijs zijn de uitkomsten van het leerproces maar ten dele gedetermineerd, zodat een spanning kan ontstaan tussen de feitelijke leerresultaten en de eis om bepaalde onderwijsdoelstellingen te realiseren.

De consequenties van de opvatting dat leren een constructief proces is heeft men binnen het constructivisme hoofdzakelijk uitgewerkt in onderwijs dat op begripontwikkeling gericht is, maar niet expliciet voor onderwijs dat zich richt op het verwerven van probleemoplossingsvaardigheden. Alhoewel informatie-verwerkings theorieën over het probleemoplossen niet onmiddellijk hebben geleid tot instructie-theorieën, bieden ze, met name de expertise modellen, wel een basis voor de vormgeving van onderwijs in het oplossen van problemen (Chi, 1991; Gick, 1986; Gick & Holyoak, 1983; Taconis, in voorbereiding b). Ook hierbij staat centraal dat leren een constructief proces is. Er wordt echter niet a priori van uitgegaan dat deze constructie alleen op basis van voorkennis plaats vindt. Een voorbeeld van construerend onderwijs is het experimentele UBP-lesmateriaal (UBP= Uit Begrip Probleemoplossen) (Taconis, in voorbereiding b). Een van de taken richt zich op vaardigheden met betrekking tot het 'analyseren' en 'plannen'. Het constructieproces wordt hier op gang gebracht door middel van inductief redeneren naar aanleiding van de onderlinge vergelijking van uitgewerkte problemen.

2. Probleemoplossen als leer-omgeving

2.1 *Probleemoplossen als middel*

In de paragrafen hierboven hebben we het probleemoplossen steeds benaderd als *onderwijsdoel*. Vanuit een ander perspectief is het probleemoplossen te beschouwen als *onderwijsmiddel*, gebruikt om doelen als kennisverwerving en begrip te bereiken. Een aantal verschillende aspecten van dit gebruik verdienen hier de aandacht.

Ten eerste: er bestaat een analogie tussen nieuwe kennis verwerven en probleemoplossen. Deze analogie is in de exacte vakken heel duidelijk (De Jong & Ferguson-Hessler, 1993). Het verwerken van nieuwe informatie en het oplossen van problemen vereisen daar sterk op elkaar lijkende cognitieve activiteiten. Dit hangt samen met het idee dat probleemoplossen een centrale - zo niet de centrale - vorm van menselijke cognitie is (Prawat, 1989). Ook heel fundamenteel voor deze overeenkomst zijn de onderwijsdoelstellingen van exacte vakken. Hier wordt gesproken van kennis, inzicht, en vaardigheden, of, in andere woorden over kennis die niet alleen reproduceerbaar is, maar ook functioneel in de voor het vakgebied typerende taken, waarvan probleemoplossen een belangrijk voorbeeld is. In overeenstemming hiermee

wordt stof veelal aangeboden in de vorm van afleidingen en voorbeeld-opgaven, die op te vatten zijn als uitgewerkte oplossingen van problemen.

Ten tweede: onderzoek naar het gebruik van kennis bij probleemoplossen heeft aangetoond dat actieve en diepe verwerking van informatie gestimuleerd wordt door de eisen die het oplosproces stelt aan de kennis van de oplosser. Dit is een noodzakelijke voorwaarde voor het leren (Shuell, 1986). Zo leidt het gebruiken van kennis tot versterking van de samenhang en aanpassing van de structuur in de richting van betere toepasbaarheid. Hierdoor worden specifieke onderdelen van de kennis beter oproepbaar in het geheugen.

Ten derde kan probleemoplossen een belangrijke bijdrage leveren aan de constructie van nieuwe kennis. Dit kan de begripsontwikkeling bevorderen (Elshout, 1987).

Ten vierde kunnen met name context-rijke problemen bijdragen aan de motivatie van de leerlingen (Wierstra, 1990).

Een vijfde toepassingsmogelijkheid betreft het zogenaamde 'probleemgestuurd onderwijs'. Hier wordt aan problemen gewerkt voorafgaande aan het bestuderen van nieuwe, daarvoor relevante studiestof. De opbrengst van deze bestudering is in een aantal opzichten groter dan bij de traditionele studie (Schmidt, 1982). Dit lijkt met name te komen doordat de voorkennis actief wordt gemaakt en wordt geherstructureerd door het vooraf werken aan een probleem. In sommige vakken, zoals natuur- en scheikunde, moet men er echter op attent zijn dat de studenten werkelijk genoeg voorkennis hebben om het gestelde probleem op een zinvolle manier te kunnen bewerken voordat de nieuwe leerstof bestudeerd wordt.

Probleemoplossen kan dus langs verschillende wegen bijdragen aan een geslaagd leerproces, dat wil zeggen een betere kwaliteit van de kennisbasis. Voor een analyse van de mogelijke rol die probleemoplossen bij het tot stand brengen van een geslaagde begripsontwikkeling zou kunnen spelen, is het noodzakelijk om de betekenis van de termen 'begrip' en 'begripsontwikkeling' nader te onderzoeken en te omschrijven.

2.2 Betekenissen van de term 'begrip'

De term 'begrip' kan in verschillende betekenissen worden gebruikt. Begrip kan verwijzen naar een subjectieve ervaring van een individu ten aanzien van de interne representatie die hij/zij heeft van een probleem, situatie, een theorie of model etc. We zullen dit *persoonlijk begrip* noemen. Begrip kan ook verwijzen naar een norm die wordt aangelegd om iemands kennis van zaken te meten: een *begripsnorm*. Behalve de bovengenoemde betekenissen kan de term begrip ook nog worden gebruikt in een engere betekenis, bijvoorbeeld in een uitdrukking als: Een lijst met basisbegrippen van de natuurkunde (d.w.z. kracht, versnelling, eenparigheid etc.). Deze betekenis zal hier buiten

beschouwing worden gelaten. In dergelijke gevallen zullen wij van concepten spreken.

Wanneer de term begrip wordt gebruikt om een norm aan te duiden, moeten we ons realiseren dat deze norm samenhangt met een bepaalde gemeenschap. Voorbeelden van zulke groepen zijn: de vakgemeenschap der natuurkundigen, de eindexamenmakers, een groep milieuactivisten die zich met problemen rond radioactiviteit bezighoudt, of de mensen in de dagelijkse omgeving. Of iemand aan zo'n norm voldoet wordt met name gemeten aan de hand van vaardigheden en prestaties die er volgens de groep op duiden dat begrip aanwezig is.

Ten aanzien van persoonlijk begrip kan worden gesteld dat het optreden van een begripsbeleving ten aanzien van theorieën of modellen voor een groot deel afhangt van de kwaliteit van de kennisbasis die daaromtrent is opgebouwd (Prawat, 1989). Dit is een logisch gevolg van het feit dat begrip ten aanzien van situaties of problemen sterk afhangt van de kwaliteit van de interne probleemrepresentatie die men heeft opgebouwd. Deze interne probleemrepresentatie is echter mede op de kennisbasis gebaseerd, zodat de kwaliteit hiervan in hoge mate bepalend is voor het persoonlijk begrip.

Een tweede factor die van invloed is op persoonlijk begrip is het vermogen te reflecteren op de inhoud van de kennisbasis of de eigen mentale voorstellingen (Prawat, 1989).

Een derde factor die een rol speelt bij het tot stand komen van een begripsbeleving is de persoonlijke opvatting van wat begrip is. Hieraan zijn criteria gekoppeld aan de hand waarvan de eigen kennis en mentale voorstellingen kunnen worden beoordeeld. De Jong en Ferguson-Hessler (1993) spreken hier van meta-kennis.

Zo'n beoordelingsproces kan impliciet en min of meer onbewust verlopen. Iemands begripsopvatting en de bijbehorende criteria hangen samen met de perceptie van wat als begrip wordt beschouwd in een gemeenschap waarin men zich wenst of voelt opgenomen.

2.3 Voorbeelden van begripsnormen

Een voorbeeld van een begripsnorm is wat wij zullen aanduiden als: 'technisch/exact-wetenschappelijk begrip'. Dit wordt met name afgemeten aan de vaardigheden die typerend zijn voor deze vakken: de kernactiviteiten. In de natuurkunde wordt bijvoorbeeld het kunnen oplossen van problemen als een signaal van begrip gezien. Kernactiviteiten in de technisch/exacte wetenschappen zijn: (a) het opzetten en uitvoeren van experimenten, (b) opstellen van hypothesen en voorspellingen van de uitkomsten bij een experimenteel of theoretisch probleem, (c) probleemoplossen, en (d) het ontwerpen en construeren van theorieën, modellen en technologische vernieuwingen.

Ook voor andere vakken kunnen begripsnormen worden afgeleid van de voor het vakgebied kenmerkende taken en activiteiten. Het (volgens de norm) beschikken over begrip van een bepaald domein, krijgt dan de betekenis van 'adequaat kunnen handelen met de kennis bij het uitvoeren van kernactiviteiten van dat domein'. Deze opvatting ligt in het verlengde van de visie, dat een kern-aspect van de concepten en technieken uit het domein van technische en exacte vakken gevormd wordt door hun karakter van gereedschappen voor het uitvoeren van kerntaken van het vak (Layton, 1991).

Een tweede voorbeeld van een begripsnorm betreft middeleeuwse en aristotelische theorieën. Deze richten zich met name op de verschijnselen zoals die zich voordoen in de wereld van alledag. De binnen de toenmalige wetenschap geldende begripsnorm komt naar voren in de bijbehorende filosofische opvattingen. Er wordt gestreefd naar 'contemplatief begrip' (Hooykaas, 1980). Dit kenmerkt zich o.a. door: (a) een kwalitatief karakter, (b) op directe perceptie gebaseerde observaties als belangrijkste methode van informatieverwerking en afwijzing van het (gemanipuleerde) experiment als informatiebron, (c) acceptatie van verklaringen achteraf in plaats van toetsbare voorspellingen, en (d) nadruk op logische consistentie en deductie.

2.4 Betekenis van begrip voor het onderwijs

Begrip speelt - net als probleemoplossen - op twee manieren een rol in het onderwijs. Ten eerste is een geslaagde begripsontwikkeling doel van het onderwijs. Het gaat hier om zowel het tot stand komen van een kennisbasis die (meer) voldoet aan de normen van het technisch/exact-wetenschappelijk begrip, als om het aanpassen van de begripsopvatting van de leerlingen en door hen gehanteerde criteria voor begrip, in de richting van de technisch/exact-wetenschappelijke begripsnorm. Ten tweede spelen de begripsopvatting en de criteria voor begrip die een leerling hanteert, vaak een sturende rol tijdens het leerproces. Dit is immers in veel gevallen op te vatten als een zoektocht of worsteling om tot begrip te komen (Gick, 1986; Klaassen, 1994).

Er kunnen verschillende redenen zijn waarom een geslaagde begripsontwikkeling - dat wil zeggen een ontwikkeling van de kennisbasis in de richting van natuurwetenschappelijk opvattingen - uitblijft.

Ten eerste kan de aanvankelijke kennisbasis een slecht uitgangspunt voor een geslaagde begripsontwikkeling vormen. Een belangrijk punt is het vóórkomen van zogenaamde preconcepties, misconcepties, alternatieve leerlingdenkbeelden, etc. (Viennot, 1979; Driver, 1985; Lijnse, 1992). Zulke leerlingdenkbeelden staan weliswaar een persoonlijk begrip toe van de wereld van alledag, maar voldoen niet aan de normen van wetenschappelijk begrip. Ze lijken vaak bestand te zijn tegen onderwijsinterventies, en worden dan ook

vaak nog in het hoger onderwijs aangetroffen (Halloun & Hestenes, 1985a, 1985b; Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992). Het lijkt moeilijk het beoogde type kennisbasis op te bouwen uitgaande van een ondeugdelijk fundament. Dit fundament verdient derhalve expliciete aandacht in het onderwijs.

Ten tweede vereist een geslaagde begripsontwikkeling van de leerlingen dat zij op een technisch/exact-wetenschappelijke norm gelijkende begripsopvatting (gaan) hanteren. Ze gaan dan in toenemende mate wetenschappelijke criteria aanleggen om te bepalen of ze iets hebben begrepen. Een belemmering voor een geslaagde begripsontwikkeling kan daarom zijn dat een leerling bij het leren een begripsopvatting hanteert - en blijft hanteren - die niet voldoende aansluit bij de norm van het technisch/exact-wetenschappelijk begrip. Als een leerling bijvoorbeeld criteria voor begrip hanteert die aansluiten bij de norm van contemplatief begrip, dan zal deze genoeg nemen met kwalitatieve verklaringen. De leerling zal zich waarschijnlijk ook niet door empirische argumenten laat overtuigen. Ook de geschiktheid van de kennisbasis voor het doen van kwantitatieve voorspellingen of voor het oplossen van problemen zijn voor zo'n leerling geen criteria voor het al dan niet hebben begrepen van een stuk stof. Derhalve is de constructie van wetenschappelijk acceptabele kennis niet waarschijnlijk. In plaats daarvan zal het resultaat in zo'n geval mogelijk lijken op middeleeuwse of aristotelische theorieën. Deze passen immers bij de gehanteerde begripsopvatting en criteria. Inderdaad blijken veel zogenaamde misconcepties (Driver, 1985; Van Genderen, 1989) gelijkenis te vertonen met middeleeuwse of aristotelische theorieën. Dit rechtvaardigt de hypothese dat veel leerlingen een begripsopvatting hanteren die op de contemplatieve norm lijkt, en hieraan veelal vasthouden. Dit vereist echter verder onderzoek.

Om deze belemmering voor het verwerven van wetenschappelijk acceptabele kennis weg te nemen is het nodig om de criteria die bij de nagestreefde begripsnorm horen aan de leerlingen over te brengen.

Een derde reden voor het uitblijven van een geslaagde begripsontwikkeling is gelegen in wat wij een 'negatieve begripsbeleving' zullen noemen. Leerlingen - helaas veelal meisjes - hebben bij technische/exacte vakken soms last van de overtuiging dat ze het vak 'toch nooit zullen snappen'. Daarmee verdwijnt alle motivatie om inspanningen te leveren, en komen ze al snel in een situatie terecht, waar hun voorkennis onvoldoende is om nieuwe informatie zin te geven, en ze inderdaad niets kunnen begrijpen. Een bijdrage aan het wegnemen van deze belemmering kan worden geleverd door de taken nauwkeurig bij het niveau van de leerlingen te laten aansluiten, zodat ze hieraan succes kunnen ervaren.

2.5 Begripsontwikkeling bij het probleemoplossen

Onze tussentijdse bespreking van de term 'begrip' maakt het mogelijk om de betekenis van het oplossen van problemen voor de begripsontwikkeling nader uit te werken. Daarbij gaan we er van uit dat de gekozen toepassingen voor alle leerlingen van de klas werkelijk *een probleem* vormen. Als de leerlingen een toepassing als een 'invulsom' beschouwen, mogen de beoogde leereffecten niet of nauwelijks worden verwacht.

Ten eerste: Het is bekend dat studenten hun leerproces laten sturen door verwachtingen en ervaringen van wat 'er gevraagd zal worden', en dat daarmee het resultaat sterk beïnvloed wordt (Marton & Säljö, 1976a; 1976b; Entwistle & Ramsden, 1983). Door bij het toetsen gebruik te maken van problemen kan men de leerlingen een *leerdoel* voor ogen stellen dat overeenstemt met een begripsontwikkeling in de richting van technisch/exact-wetenschappelijk begrip. Door zulke leerdoelen wordt een bijstelling van de kennisbasis in de gewenste richting gestimuleerd en kunnen de persoonlijke begripsopvatting en begripscriteria van leerlingen worden beïnvloed in de richting van technisch/exact-wetenschappelijk begrip.

Ook andere kernactiviteiten zoals het opzetten en uitvoeren van een experiment of het construeren van een systeem of apparaat met gewenste prestaties kunnen overigens deze functie vervullen. Ze kunnen vanuit psychologisch oogpunt gezien echter als probleemoplossen worden beschouwd. De gebruikte taken dienen in ieder geval een afspiegeling te vormen van de kernactiviteiten van het vak. Deze kunnen op allerlei niveaus worden geformuleerd.

Ten tweede: Het probleemoplossen vraagt het opbouwen van een interne representatie van het probleem, dat wil zeggen het combineren van externe informatie over de probleemsituatie met informatie uit het geheugen die relevant is voor de situatie en de vraagstelling. Dit betekent het expliciteren van situaties en procedures en het leggen van nieuwe verbanden, in andere woorden het construeren van nieuwe kennis (Clement, 1993). Deze activiteiten zijn ook bevorderlijk voor de ontwikkeling van begrip (Elshout, 1987). De resulterende probleemrepresentatie moet echter geschikt zijn voor de verdere oplossing van het probleem. Door het gebruik van problemen als leer-taak wordt het constructieproces ingebed in het probleemoplossingsproces. Daarmee wordt een belangrijk criterium van technisch/exact-wetenschappelijk begrip als randvoorwaarde aan het proces van kennisconstructie opgelegd.

Ten derde: Als een kernaspect van natuurwetenschappelijke concepten is dat ze (ook) gereedschappen zijn, kunnen deze concepten alleen volledig worden begrepen als dit aspect in ogenschouw wordt genomen. Het naast elkaar bestaan van de concepten energie en kracht krijgt bijvoorbeeld betekenis als de verschillen in toepasbaarheid en toepassingswijze in de discussie worden betrokken. Deze vormen een legitimatie en criterium om

beide begrippen te onderscheiden. In het kader van het probleemoplossen komen deze verschillen op een natuurlijke wijze aan de orde.

3. Naar een synthese

Nu we een globaal overzicht hebben van relevante theorieën en visies, en de verbanden tussen probleemoplossen en begrip hebben onderzocht, richten we onze blik naar de praktijk van het onderwijs en de actuele eisen die aan het onderwijs worden gesteld. Dit vormt het laatste ingrediënt om tot een standpuntbepaling te komen, waarvan we vervolgens enige implicaties zullen schetsen.

3.1 De rol van probleemoplossen in het huidige natuurkundeonderwijs

In de technische en exacte sectoren van het hoger en wetenschappelijk onderwijs is probleemoplossen meestal een belangrijke doelstelling. Hier wordt het analyseren van complexe situaties vereist en wordt gewerkt aan taken die typerend zijn voor de technische en exacte vakken. Didactisch wordt, met name in het HBO, vooral op de SPA-methode geleund. In het natuurkundeonderwijs van het havo en het vwo is er traditioneel minder aandacht voor probleemoplossen (Taconis, Stevens & Ferguson-Hessler, 1992; Taconis & Van Beckhoven, 1991). Toch lijkt ook hier de aandacht voor het verwerven van probleemoplossingsvaardigheden - met name door middel van de SPA-methode - toe te nemen.

Naast het vaststellen van de mate waarin in het huidige onderwijs probleemoplossen als *leerdoel* van belang is, kunnen we ons ook afvragen welke rol in het onderwijsleerproces aan probleemoplossen is toebedeeld.

Zowel in het havo en vwo als in de technische en exacte sectoren van het hoger en wetenschappelijk onderwijs lijkt de rol van probleemoplossen in het leerproces veelal beperkt tot het maken van sommen waarmee de eerder verworven kennis kan worden geoefend, bijgesteld en beter toepasbaar kan worden gemaakt. Op zich zijn dit nuttige leeractiviteiten. De bijdrage die het werken met problemen kan bieden bij de constructie van nieuwe kennis wordt echter niet uitgebuit.

Daarnaast is het leren in de praktijk soms sterk gericht op het herkennen van standaardsituaties en het uitvoeren van standaardbewerkingen. Bovendien wordt het rekenwerk in de sommen vaak sterk benadrukt ten koste van de begripsontwikkeling die samenhangt met het analyseren van de gegeven situatie en het maken van een plan voor de oplossing. Gedetailleerde uitleg van bijvoorbeeld het concept kracht werkend op een duidelijk omschreven systeem, zou zeker zo veel tijd moeten krijgen als het algebraïsche en/of numerieke rekenwerk dat volgt als de concepten eenmaal zijn toegepast. Zonder deze vorm van begripstraining wordt voor sommige leerlingen het oplossen van

natuur- en scheikundeproblemen een algebraïsche manipulatie. Een leerling zal met deze techniek soms er in slagen om een correct antwoord te presenteren, maar af en toe volledig de plank mis slaan. Een voorbeeld uit de elektriciteitsleer: Tussen A en B bevindt zich een schakelaar die open staat. $V = RI$. Er loopt geen stroom. Dus is het spanningsverschil tussen A en B nul.

In het voortgezet onderwijs zijn nieuwe mogelijkheden ontstaan doordat problemen steeds meer in een leef-wereld context worden geplaatst. Dit werkt niet alleen motiverend, maar biedt ook de gelegenheid om te oefenen in het herkennen van in context gestelde problemen, als voorbeelden van algemener geldige probleemttypen waarop algemene wetten, concepten en procedures van toepassing zijn. Dit vereist het vermogen van de context te abstraheren. Een gevaar is dat onvoldoende tegenwicht wordt geboden aan de neiging van de leerlingen de aandacht te focuseren op specifieke onderdelen van de situatie. Abstraheren blijft dan achterwege, waardoor de begripsvorming ernstig wordt belemmerd.

Een voorbeeld: Bij een opgave over de tijd die een constant optrekkende auto nodig heeft om 10 meter af te leggen, kan het zijn dat de gedachten alleen naar de daarbij gebruikte formule ' $s = v_0t + \frac{1}{2}at^2$ ' uitgaan. Wanneer daarbij niet wordt geabstraheerd, komen de voor de oplossing relevante kenmerken van het probleem niet aan het licht. Wanneer dan in een tweede probleem over een remmende auto de remweg wordt gevraagd, bestaat de kans dat het context-element 'auto' de leerlingen er toe verleidt ook hier met ' $s = v_0t + \frac{1}{2}at^2$ ' aan de slag te gaan. Dit is echter zeker niet de handigste weg, en bij een niet-eenparige vertraging zelfs incorrect. De kennis dat deze formule wel handig is als bij een eenparig versnelde beweging de tijd wordt gevraagd, maar niet geldig bij een niet-eenparig versnelde beweging, is niet tot stand gekomen. Alhoewel dit geen direct gevolg is van het gebruik van contexten, kunnen deze daartoe wel hindernissen opwerpen omdat zij het abstraheren een stuk complexer maken.

3.2 *Nieuwe eisen aan het middelbaar onderwijs?*

Een van de taken van het middelbaar onderwijs is het bieden van een algemene vorming. De laatste jaren wordt echter steeds nadrukkelijker gewezen op het belang van een goede aansluiting tussen het middelbaar en hoger onderwijs (Ministerie van O&W, 1991; 1992). Alhoewel allerlei factoren een rol spelen bij de problemen die studenten in de propaedeuse blijken te ondervinden (Pascarella, 1985), lijkt een deel hiervan voort te komen uit discrepanties tussen de bij instroom veronderstelde probleemoplossingsvaardigheden en studievoordigheden enerzijds en de bij studenten feitelijk aanwezige vaardigheden anderzijds (Hulshof, 1990; Vermunt, 1993; Taconis,

Stevens & Ferguson-Hessler, 1992). Ook begrip speelt hier vermoedelijk een rol (Halloun & Hestenes, 1985a, 1985b; Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992).

Er is dus aanleiding om in het natuurkundeonderwijs van havo en vwo naast de gevestigde thema's zoals 'begripsontwikkeling', en 'contexten', ook probleemoplossingsvaardigheden en studievaardigheden te benadrukken. Daarbij lijkt het voor de hand te liggen om bij voorkeur een geïntegreerde aanpak na te streven, zodat de raakvlakken tussen bijvoorbeeld probleemoplossen en begripsontwikkeling, en tussen probleemoplossen en studeren, kunnen worden uitgebuit.

Dit roept evenwel de vraag op welke van de boven geschetste theoretische invalshoeken de beste kansen biedt een dergelijke programma te realiseren. Het gaat er daarbij uitdrukkelijk niet om te kiezen tussen zienswijzen waarvan de ene 'juist' zou zijn en de andere 'onjuist'. Probleemoplossen is te complex om te mogen veronderstellen dat één enkele theorie alle aspecten ervan volledig en correct zou kunnen beschrijven. Toch kan ons inziens op basis van pragmatische argumenten een keuze worden gemaakt.

Bestaande handelingspsychologische modellen voor probleemoplossingsonderwijs leggen weinig nadruk op het probleemoplossen als omgeving voor begripsontwikkeling, de inhoud van de bij het probleemoplossen gebruikte kennis, en de rol van begrip en contexten bij het probleemoplossen. Wel heeft Van Oers (1987) contouren aangegeven van een handelingspsychologisch instructiemodel dat zich met name richt op begripsontwikkeling. Alhoewel begripsontwikkeling wordt omschreven als een proces van het verwerven van vaardigheid in het probleemoplossen (p. 374) blijft probleemoplossen echter impliciet.

Binnen expertise modellen staat de rol van (voor)kennis en begrip bij het probleemoplossen centraal, en kan bovendien een parallel worden getrokken tussen probleemoplossen en studeren (De Jong & Ferguson-Hessler, 1993). Bovendien leveren zulke modellen - zoals hieronder zal worden uitgewerkt - een basis voor praktische toepassingen en verder onderzoek naar de rol van contexten bij het probleemoplossen, en derhalve bij het leren.

Wij menen dat de bovengenoemde thema's binnen een expertisebenadering op een natuurlijke wijze een plaats kunnen vinden. Daarbinnen kiezen we voor een schema-benadering omdat dit ons inziens een goede basis is voor een samenhangende aanpak van de bovengenoemde thema's in het onderzoek en in het onderwijs. Redenen hiervoor zijn:

1. Schemata worden gebruikt in probleemoplossingsonderzoek, en kunnen in de vorm van semantische netwerken worden beschreven. Het gebruik van die laatste is ingeburgerd in het begripsontwikkelingsonderzoek ('concept-maps') om misconcepties te beschrijven. Een schema-benadering biedt dus

een basis om misconcepties en probleemoplossingsvaardigheden met elkaar in verband te brengen (Taconis & Ferguson-Hessler, 1993a).

2. Schemata kunnen worden gebruikt voor een expliciete en gedetailleerde beschrijving van de kennisbasis. Een schema-beschrijving van de gewenste kennisbasis kan bijdragen aan de formulering en vaststelling van de onderwijsdoelstellingen (Taconis, Stevens & Ferguson-Hessler, 1992). Een beschrijving van de feitelijk bij leerlingen aanwezige kennisbasis kan bijdragen aan de analyse van bijvoorbeeld begripsontwikkelingsprocessen, en aan het ontwerp van daarop gericht onderwijs.
3. Schemata kunnen worden gebruikt voor een expliciete en gedetailleerde beschrijving van de wijze waarop informatie uit een probleem op basis van voorkennis wordt geïnterpreteerd en verwerkt. Dit levert een basis voor onderzoek naar de rol van contexten bij het construeren van een interne representatie van een probleem, het analyseren hiervan, en het plannen van de oplossing.
4. Analooq kunnen schemata worden gebruikt voor een beschrijving van de cognitieve processen en de rol van de voorkennis bij het verwerken van nieuwe informatie en het construeren van nieuwe kennis. Deze analyse levert informatie over studievaardigheden die voor een vak relevant zijn, en maakt het mogelijk om relaties te leggen met andere cognitieve vaardigheden.

4. Mogelijke implicaties voor het onderwijs

Uit deze benadering komen een aantal aanbevelingen voor het onderwijs voort, die zowel gericht zijn op het verbeteren van de begripsontwikkeling als op het verwerven van probleemoplossingsvaardigheden. Een deel hiervan komt voort uit de analyse van de relaties tussen begrip en probleemoplossen, terwijl een ander deel uit de schema-benadering voortkomt.

- Ten eerste zou de leerlingen expliciet duidelijk moeten worden gemaakt dat het *leerdoel* niet het kunnen maken van een aantal standaardsommen is. Duidelijk moet worden dat het kunnen gebruiken van de kennis om taken uit te voeren die op het beoogde niveau de kernactiviteiten van het vak representeren, een belangrijk doel is. Hieronder vallen bijvoorbeeld het oplossen van bepaalde typen problemen, het opzetten van een experiment en het interpreteren van de uitkomsten, etc. Daarnaast is het verwerven van competentie in het leren een doel, dat in het kader van dit artikel echter niet expliciet is besproken.
- Een dergelijk leerdoel impliceert dat een geslaagde begripsontwikkeling nodig is. Daarom zou men moeten trachten de *concrete criteria die bij de nagestreefde begripsnorm* horen aan de leerlingen over te brengen. Hierdoor worden niet alleen de begripsopvatting en begripscriteria van de

leerlingen beïnvloed, maar ook hun persoonlijke leerdoelen, en daarmee de uitkomst van hun leren. Een manier is het bespreekbaar maken van de criteria voor begrip. Met de leerlingen kunnen gesprekken worden gevoerd over wat begrijpen is, wat voor criteria men aan kan leggen om te bepalen of iets wel of niet begrepen is, hoe het worstelen om tot begrip en zinvolheid te komen een onderdeel vormt van het leren van deze vakken, en niet een teken van domheid is. Hierdoor wordt de begripsopvatting uit de zuiver persoonlijke sfeer getrokken en kan deze in de richting van de gewenste technische/exacte-wetenschappelijke opvattingen verschuiven. Een andere manier is er voor te zorgen dat de constructie van nieuwe kennis plaats vindt binnen het kader van probleemoplossen (of andere voor de discipline typerende activiteiten) of in samenhang daarmee. Hierbij is de communicatie van de begripscriteria meer impliciet.

- Ten derde zou men de leerlingen moeten *helpen* om een voor deze taken adequate kennisbasis te verwerven, die een basis is voor een technisch/exact-wetenschappelijk georiënteerd begrip. Hier zijn verschillende aanpakken denkbaar. Het is ons inziens mogelijk zonder het invoeren van moeilijke termen als 'functionele schemata', toch de elementen hiervan 'aan te brengen'. In de natuurkunde kan men bijvoorbeeld praten over het 'Wat?' (zegt die), het 'Hoe?' (wordt die toegepast) en het 'Wanneer?' (is die nuttig) van een wet (Ferguson-Hessler, 1988). In andere vakken zou men analoge, op de daar geldende kernactiviteiten gerichte beschrijvingen van functionele eenheden van kennis kunnen gebruiken. Bij het bespreken van problemen en andere taken kan men expliciet de constructie van nieuwe kennis kunnen laten zien door hardop verbanden te leggen en zo onderdelen van functionele schema's te laten ontstaan. Daarnaast kunnen lessen zo worden ingericht dat de leerlingen er toe worden gebracht deze verbanden zelf te construeren (Taconis, in voorbereiding b).
- Ten vierde zou men in de klas expliciete aandacht dienen te besteden aan de *cognitieve activiteiten* die de basis vormen voor vaardigheden in probleemoplossen. Dit betekent dat het construeren van een mentale representatie van het probleem, en de daaruit volgende analyse en keuze van toe te passen wetten en formules de hoofdmoot van de aandacht krijgen, terwijl het wiskundig uitwerken als routinewerk behandeld wordt. Een moeilijkheid hierbij is dat de docent een groot gedeelte van deze cognitieve activiteiten zelf meer of minder automatisch uitvoert, en echt zijn of haar eigen gedachtengang moet analyseren om deze aan de leerlingen uit te kunnen leggen.
- Ten vijfde dient de leerlingen duidelijk te worden gemaakt dat *problemen leerkanzen* zijn, en dat het ophoesten van goede antwoorden niet vol-

doende is. Ook kunnen expliciet vergelijkingen tussen probleemoplossen en studeren worden getrokken.

- Een afzonderlijk aandachtspunt vormt de '*negatieve begripsbeleving*': de idee dat 'ik het toch nooit zal begrijpen'. Door vooral niet te moeilijke - nauwkeurig op het niveau van de leerling afgestemde - taken aan te bieden, kan deze succeservaringen opdoen, waaruit het vertrouwen kan groeien dat begrip bij voldoende inzet werkelijk bereikbaar is.

Een aantal van deze aanbevelingen zijn op basis van schema-theorie uitgewerkt in het zogenaamde UBP-materiaal (Uit Begrip Probleemoplossen). Dit is ontworpen voor het natuurkundeonderwijs in de bovenbouw van havo en vwo en in het eerste jaar van het hoger onderwijs. Dit materiaal zet leerlingen aan de centrale kenmerken uit problemen te abstraheren, en die vervolgens in verband te brengen met bijbehorende oplossingen.

Daarnaast wordt aandacht besteed aan het 'leren van problemen'. Uit de eerste tests (Taconis, in voorbereiding b) blijkt dat vooral de zwakkere leerlingen en de meisjes in de onderzochte klassen er baat bij hebben.

Literatuur

- Alba, J.W., & L. Hasher (1983). Is memory schematic? *Psychological Bulletin*, 93, 203-31.
- Bechtel, W., & A. Abrahamson (1991). *Connectionism and the mind, an introduction in parallel processing in networks*. Cambridge, Mass: Basil Blackwell.
- Boekaerts, M. & P.R.J. Simons (1993). *Leren en Instructie*. Assen: Dekker & van de Vegt.
- Brewer, W.F. (1987). Schemas versus mental models in human memory. In P. Morris (Ed.), *Modelling Cognition* (pp. 187-197). Chichester: John Wiley & Sons.
- Chi, M.T.H., P.J. Feltovich & R. Glaser (1981). Categorisation and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.
- Chi, M.T.H. (1991). Conceptual change within and across ontological categories: examples from learning and discovery in science. Paper presented at the 1991 AERA annual meeting, Chicago. To appear in R. Giere (Ed.), *Cognitive models of science: Minnesota studies in the philosophy of science*. University of Minnesota Press.
- Clement, J. (1993). *Scientific learning in experts: Explanatory model construction versus induction from observations*. Paper presented at the annual meeting of AERA, Atlanta, USA.

- Driver, R., E. Guesne & A. Tiberghien (1985). In R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberghien (Eds.), *Children's ideas in science* (pp.1-10). Milton Keynes, UK: Open University Press.
- Elshout, J.J. (1987). Probleemoplossen als context voor leren probleemoplossen. *Nederlands Tijdschrift voor de Psychologie*, 42, 344-353.
- Entwistle, N.J. & P. Ramsden (1983). *Understanding student learning*. London: Croom Helm.
- Ferguson-Hessler, M.G.M. (1988). *Studiehandleiding*. Eindhoven: TUE, faculteit der Technische Natuurkunde.
- Ferguson-Hessler, M.G.M. (1989). *Over kennis en kunde in de fysica*. Proefschrift, TU-Eindhoven, Eindhoven.
- Ferguson-Hessler, M.G.M. & T. de Jong (1987). On the quality of knowledge in the field of electricity and magnetism. *American Journal of Physics*, 55, 6, 492-497.
- Genderen, D. van (1989). *Mechanica - onderwijs in beweging*. Proefschrift, Universiteit Utrecht, Utrecht.
- Gick, M.L. (1986). Problem solving strategies. *Educational Psychologist*, 21, 99-120.
- Gick, M.L. & K.J. Holyoak (1983). Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Psychology*, 15, 1-38.
- Halloun, I.A. & D. Hestenes (1985a). The initial knowledge state of college physics students, *American Journal of Physics*, 53, 11, 1043-1055.
- Halloun, I.A. & D. Hestenes (1985b). Common sense concepts about motion, *American Journal of Physics*, 53, 11, 1056-1065.
- Hestenes, D., M. Wells & G. Swackhamer (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30, 141-158.
- Hooykaas, R. (1980). Das Verhältnis von Physik und Mechanik in Historischer Hinsicht. In E.J. Fischer (Ed.), *Geschiedenis van de techniek: Inleiding overzicht en thema's*. Den Haag: Martinus Nijhoff.
- Hulshof, M.J.F. (1990). *Welke kwalificaties vraagt het wetenschappelijk onderwijs? Literatuurstudie ten behoeve van het ARVO*. Nijmegen: IOWO.
- Jong, T. de (1986). *Kennis en het oplossen van vakinhoudelijke problemen*. Proefschrift, TU-Eindhoven, Eindhoven.
- Jong, T. de & M.G.M. Ferguson-Hessler (1993). Types and qualities of knowledge. In D.F. Shuell (chair), *Subject-matter knowledge: inter-domain, multidimensional analysis of individual differences*. Symposium conducted at the annual meeting of AERA, Atlanta, USA.
- Klaassen, C.W.J.M. (1994). Knowledge acquisition as interpersonal understanding. In P.L. Lijnse (Ed.) *European research in science education: Proceedings of the first Ph. D. summerschool*. Utrecht, The Netherlands: University Utrecht.

- Layton, D. (1991). Science education and praxis: The relation of school science to practical action. *Studies in Science Education*, 19, 43-79.
- Lijnse, P.L. (1992). *Natuurkunde leren begrijpen*. Inaugurale rede, november 1992. Universiteit Utrecht.
- Marton, F. & R. Säljö (1976a). On qualitative differences in learning: I Outcome and process. *British Journal of Educational Psychology*, 46, 4-11.
- Marton, F. & R. Säljö (1976b). On qualitative differences in learning: II Outcome as a function of the learner's conception of the task. *British Journal of Educational Psychology*, 46, 115-127.
- Mettes, C.T.C.W. & J. Gerritsma (1986). *Probleemoplossen, Onderwijskundige informatie voor het Hoger Onderwijs*. Spectrum (aula) Utrecht-Antwerpen 1986.
- Mettes, C.T.C.W., A. Pilot, H.J. Roossink, O. de Jong & H. Kramers-Pals (1980/81). Het oplossen van natuurwetenschappelijke vraagstukken I - III. *Faraday*, 49, 157-164; 197-202; *Faraday*, 50, 5-10.
- Mettes, C.T.C.W. & A. Pilot (1980). *Over het leren oplossen van natuurwetenschappelijke problemen*. Proefschrift, Universiteit Twente, Enschede.
- Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen (1991). *Nota: Profiel van de tweede fase van het voortgezet onderwijs*.
- Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen (1992). *Vervolgnota: Profiel van de tweede fase van het voortgezet onderwijs*.
- Newell, A. & H.A. Simon (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Oers B.J.M. van (1987). *Activiteit en begrip: Proeve van een handelingspsychologische didactiek*. Proefschrift, Vrije Universiteit, Amsterdam.
- Oers B.J.M. van (1988). Modellen en de ontwikkeling van het (natuur-) wetenschappelijk denken van leerlingen. *Tijdschrift voor didactiek van de β -wetenschappen*, 2, 115-143.
- Pascarella, E.T. (1985). College environmental influences on learning and cognitive development: A critical review and synthesis. In J.C. Smart (Ed.) *Higher education: Handbook of theory and research*. New York: Agathon Press.
- Perkins, D.N. & G. Salomon (1989). Are cognitive skills context-bound? *Educational Researcher*, 16, 16-25.
- Prawat, R.S. (1989). Promoting access to knowledge, strategy, and disposition in students: A research analysis. *Review of Educational Research*, 59, 1-41.
- Reif, F., J.H. Larkin & G.C. Brackett (1976). Teaching general learning and problem-solving skills. *American Journal of Physics*, 44, 3, 212-217.

- Rumelhart, D.E. & D.A. Norman (1973). Active semantic networks as a model of human memory. *Proceedings of the third international conference on artificial intelligence*. Stanford, CA.
- Rumelhart, D.E. & D.A. Norman (1981). Analogical processes in learning. In J.R. Anderson (Ed.), *Cognitive skills and their acquisition* (pp.335-361). Hillsdale, NJ: LEA.
- Rumelhart, D.E., P. Smolensky, J.L. McClelland & G.E. Hinton (1986). Schemata and sequential thought processes in PDP models. In D.E. Rumelhart & J.L. McClelland, (Eds.), *Parallel Distributed Processing: Explorations in microstructure of cognition: Vol. 2. Psychological and Biological Models* (pp.7-57). Cambridge, MA: MIT press/Bradford Books.
- Schmidt, H. (1982). Problem based learning: Rationale and description. In H.G. Schmidt, *Activatie van voorkennis, intrinsieke motivatie en de verwerking van tekst* (pp.16-30). Proefschrift, Rijksuniversiteit Limburg, Maastricht.
- Shuell, T.J. (1986). Cognitive conceptions of learning. *Review of Educational Research*, 56, 411-436.
- Taconis, R. (in voorbereiding a). *The knowledge-base of pupils preparing for the secondary-school leaving examination related to their problem solving skills*.
- Taconis, R. (in voorbereiding b). *Cooperative Schema construction: Learning Task to Support the Transition from Secondary Education to Technical and Scientific Higher Education*.
- Taconis, R. & M. van Beckhoven (1991). Probleemoplossen: Nuttige fysicabagage voor de leerlingen. *NVON-maandblad*, 9, 389-402.
- Taconis, R., M. Stevens & M.G.M. Ferguson-Hessler (1992). *Probleemoplossingsvaardigheden in het natuurkundeonderwijs van de bovenbouw van het voortgezet onderwijs*. TU-Eindhoven, Eindhoven.
- Taconis, R. & M.G.M. Ferguson-Hessler (1993a, april). *A problem-solving perspective on misconceptions in mechanics*. Paper presented at the annual meeting of AERA, Atlanta, USA.
- Vermunt, J.D.H.M. (1993). *Leerstijlen en sturen van leerprocessen in het hoger onderwijs*. Proefschrift, KU-Brabant, Tilburg.
- Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 1, 2, 205-221.
- Wierstra, R.F.A. (1990). *Natuurkundeonderwijs tussen leefwereld en vakstructuur*. Proefschrift, Universiteit Utrecht, Utrecht.
- Wijderveld, P., H. Jaanus & W. van Hoorn (1990). *Cognitieve Psychologie*. Amsterdam: Swets & Zeitlinger.