

Zijn probleemoplossingsvaardigheden domeingebonden?

H. Kramers-Pals

Faculteit CT, Universiteit Twente, Enschede

Summary

Are problem solving skills domain-bound? Does effective problem solving depend more on deep expertise in a specialty than on reflective awareness and general strategies? Considerable controversy surrounds this issue. A synthesis is suggested. General and specialized knowledge function in close partnership. General problem solving strategies are useful for solving problems in unfamiliar domains. When problem-solving ability is developing in a specific domain, transfer to other domains occurs only under specific conditions. An important condition is the deliberate mindful abstraction of relationships or strategies from examples in a specific domain to other domains. If learning for life and not only for school is considered to be an important aim of education, the transfer of domain-bound knowledge and skills to unfamiliar domains should be of primary concern in subject-matter selection and teaching.

1. Probleemoplossen

Probleemoplossen is al lang onderkend als een belangrijke cognitieve activiteit (James, 1890; Dewey, 1916). Er zijn twee invalshoeken van waaruit de belangrijke rol van probleemoplossen in het onderwijs in de wiskunde en de natuurwetenschappen kan worden bekeken.

Ten eerste is probleemoplossen van belang bij het leren van de vakinhoud. Het oplossen van problemen heeft daarbij twee functies:

- toetsen: het oplossen van problemen wordt gebruikt om te bepalen wat een leerling wel of niet heeft geleerd;
- onderwijzen: het laten doorwerken van problemen kan bijdragen tot een beter begrip van de vakinhoud.

Ten tweede gaat probleemoplossen boven bepaalde vakinhouden uit. Het leren oplossen van problemen wordt soms beschouwd als een kerndoel van het scholingsproces. Een van de karakteristieken van mensen met een hogere opleiding zou in die opvatting moeten zijn dat zij kunnen bijdragen tot het oplossen van problemen in onze complexe technologische samenleving.

Een dergelijk onderwijsdoel gaat niet alleen uit van de aanname dat algemene probleemoplosvaardigheden bestaan, maar ook dat deze in de context van het reguliere onderwijs geleerd kunnen worden.

Beide invalshoeken legitimeren onderzoek naar probleemoplossen. Vooral sinds de ontwikkeling van het informatieverwerkingsparadigma heeft probleemoplossen veel aandacht gekregen.

Vroege opvattingen over het oplossingsproces

Volgens William James (1890) is het oplossen van een probleem een zoektocht die optreedt wanneer de middelen om een doel te bereiken niet aanwezig zijn op het moment dat het doel wordt gedefinieerd.

In de eerste helft van de twintigste eeuw werd het onderzoek naar probleemoplossen door drie invalshoeken gedomineerd (Voss, 1989). In de *beschrijvende benadering* wordt het oplossen van een probleem beschreven als een stapsgewijze proces. Dewey (opnieuw uitgegeven in 1971) gaf bijvoorbeeld vijf stappen aan: iemand ervaart een probleem; het probleem wordt gedefinieerd; een mogelijke oplossing wordt bedacht; de implicaties hiervan worden getest door redeneren; de oplossing wordt geverifieerd. Wallas (1926) beschreef het oplossingsproces analoog met de termen: *preparation, incubation, illumination and verification*. Polya (oorspronkelijke publicatie 1945) deelde zijn heuristische vragen voor het oplossen van wiskundige problemen in vier fasen in: (a) *understanding the problem*, (b) *devising a plan*, (c) *carrying out the plan*, (d) *looking back*. Dergelijke beschrijvingen waren niet gekoppeld aan onderzoek, maar wezen op belang van probleemoplossen als integraal facet van het denkproces en pleitten ervoor hiervan een integraal facet van onderwijsleerprocessen te maken.

Een tweede invalshoek was die van *Piaget* en zijn medewerkers. Zij gebruikten de bestudering van het oplossen van problemen door kinderen als een middel om de ontwikkeling van mentale structuren bij kinderen te volgen.

Bij de derde invalshoek, de *Gestalt* en daarop gebaseerde psychologie (Duncker, 1926, 1945; Wertheimer, 1959) werd het oplossen van problemen gezien als een proces dat verwant is met perceptie, waarbij het oplossingsproces opgevat wordt als herstructurering van wat tegenwoordig de organisatie van de kennisbasis genoemd zou worden. Aangenomen werd dat de probleemoplosser deze herstructurering ervoer als de verwerving van inzicht. Het werk dat in Nederland geïnspireerd is door de niveautheorie van Van Hiele (1957) en Van Hiele-Geldof (1957) vertoont verwantschap met deze invalshoek.

Een gemeenschappelijk element bij al deze invalshoeken is dat probleemoplossen niet los gezien wordt van andere psychologische processen als leren, denken, onthouden, transfer, perceptie en motivatie. Omgekeerd kunnen deze processen ook opgevat worden als probleemoplossingsprocessen.

De informatieverwerkingsbenadering

Selz (1922) wordt gewoonlijk gezien als de voorloper hiervan. De nieuwere golf na 1970 wordt gedragen door onderzoekers die vaak gebruik maken van computersimulatie van probleemoplossen om hun ideeën uit te werken. Daarbij zijn veel bèta's die onderzoek doen naar het oplossen van problemen op hun eigen vakgebied, onder andere Larkin (1979) en Schoenfeld (1985).

In het informatieverwerkingsjargon wordt de term *task environment* (taak-omgeving) gebruikt voor de probleemformulering en de context ervan. De probleemformulering omvat de beschrijving van een *begintoestand* en een *doeltoestand*. Daarnaast omvat de probleemformulering *constraints* (beperkende voorwaarden). De stappen die nodig zijn om het probleem op te lossen kunnen gedefinieerd worden in termen van *toestanden* en *operatoren*. Het oplossen van een probleem wordt opgevat als een proces waarin de oplosser op zoek is naar een pad dat van de begintoestand leidt tot de doeltoestand. Een concept in de informatieverwerkingstheorie dat nauw verband houdt met toestanden en operatoren is de *probleemruimte*. Dit is de kennis van de probleemoplosser die relevant is voor de interpretatie en de oplossing van het probleem. De probleemoplosser moet een operator toepassen om van de begintoestand in een andere toestand te komen. De keuze wordt bepaald met behulp van een *strategie*, dat wil zeggen een redelijk systematische methode die de mogelijkheid in zich heeft om tot oplossing van het probleem te leiden. Een voorbeeld hiervan is doel-middel-analyse (terugredeneren).

Bij de bestudering van de aanpak van meer complexe problemen (minder gestructureerde problemen: Reitman, 1965; Simon; 1973) werd de *probleemrepresentatie* als aanvullend concept ontwikkeld. Een probleemoplosser zal een probleem gewoonlijk interpreteren in termen van haar of zijn eigen perceptie van de belangrijkste factoren die op het probleem betrekking hebben of er de oorzaak van zijn, met inbegrip van de beperkende voorwaarden. Voor een probleemrepresentatie moet een probleemoplosser steunen op haar of zijn geheugen en mogelijk op andere informatiebronnen. Het is dus relevant over welke kennis de probleemoplosser beschikt met betrekking tot het probleem. Niet alleen iemands kennis, maar ook de manier waarop deze is georganiseerd, is van belang is de probleemrepresentatie. De kwaliteit van de oplossing hangt af van de kwaliteit van de probleemrepresentatie. Van Streun gaat in dit themanummer nader in op de ontwikkeling van een probleemrepresentatie (mentale voorstelling van een probleemsituatie).

Een ander aanvullend concept in de informatieverwerkingsbenadering bij meer complexe problemen is dat van de *planning*. Deze term omvat een of meer strategieën die gebruikt kunnen worden bij de ontwikkeling van de oplossing. Planning is een algemenere term dan strategie, omdat strategie een

goed-gedefinieerde serie handelingen is, terwijl planning ook de keuze en mogelijk evaluatie van verschillende strategieën omvat.

In het werk aan het oplossen van problemen binnen de technische faculteiten van de Universiteit Twente en het Onderwijskundig Centrum van de UT wordt als theoretisch kader voor het probleemoplossen en het leren ervan een handelingstheoretische benadering gebruikt die gebaseerd is op het werk van Gal'perin (1989, 1992), maar ook elementen uit de informatieverwerkingstheorie heeft verwerkt. Hierop wordt in het kader van dit artikel verder niet ingegaan.

Aard van de onderzochte problemen

Er zijn verschillende manieren om problemen in te delen. Een voor de hand liggende indeling is die op grond van het vakgebied, in het jargon soms ook aangeduid als domein, zoals wiskunde, natuurkunde, scheikunde, communicatie, bestuurskunde. Alle genoemde domeinen zijn semantisch rijk: omvatten veel domeinkennis. Bij onderzoek van probleemoplossen in het kader van de informatieverwerkingsbenadering werden eerst voornamelijk semantisch arme domeinen onderzocht, zoals puzzle-achtige opdrachten over hoe gemengde gezelschappen van evenveel missionarissen en kannibalen een rivier over kunnen steken in een boot die slechts twee mensen kan bevatten, terwijl er nooit aan één oever meer kannibalen dan missionarissen mogen staan.

Een andere indeling is die in gestructureerde en minder goed gestructureerde problemen. Het onderzoek naar probleemoplossen in de informatieverwerkingsbenadering betrof eerst vooral goed gestructureerde problemen en verschuift nu geleidelijk naar de minder goed gestructureerde. In het Nederlandse voortgezet en hoger onderwijs krijgen de leerlingen vooral goed gestructureerde problemen voortgezet ('sommencultuur'). Als het leren oplossen van problemen een onderwijsdoel is waarbij ernaar gestreefd wordt dat mensen later hun steentje kunnen bijdragen tot het oplossen van problemen in onze complexe technologische samenleving, zou veel meer aandacht besteed moeten worden aan het leren aanpakken van minder goed gestructureerde problemen.

Bij de indeling in goed en minder goed gestructureerde problemen is de ervaring van de probleemoplosser van belang. Hetzelfde geldt voor een hiermee verwante indeling in 'exercises' en 'problems'. Het oplossen van 'exercises' komt neer op het gebruiken van een oplossingsalgoritme of bekende procedure in combinatie met een rijke kennisbasis.

In de praktijk van de school zijn vrijwel alle opgaven die in de klas doorgewerkt worden voor de docenten 'exercises'. Voor de leerlingen zijn deze opgaven vaak wel echte problemen. Zie voor de gevolgen hiervan voor de uitleg en het leerproces Kramers-Pals, Lambrechts en Wolff (1982).

Kuljutkin (1970) stelde een indeling voor die in veel mindere mate afhankelijk is van de kennis van de individuele probleemoplosser. Zij ging bij haar klassificatie uit van de noodzakelijke oplossingsstappen tussen het gegevene en datgene wat wordt gevraagd, vereist of gezocht. Zij onderscheidde identificatieproblemen, constructieproblemen en problemen van verklaring en bewijs. Mettes en Pilot (1980) die voortrekkers waren in het onderzoek naar probleemoplossen aan de Universiteit Twente constateerden dat de door hen onderzochte problemen (tentamenopgaven Thermodynamica) in hoofdzaak gerekend konden worden tot de identificatieproblemen in de indeling van Kuljutkin, omdat het erom ging de toestand (de probleemsituatie) beter te leren kennen. Bij deze problemen wordt een omschrijving van een probleemsituatie gegeven en dan wordt gevraagd enkele grootheden uit te rekenen en/of vergelijkingen uit te werken tussen een aantal variabelen. De probleemsituatie wordt meer volledig gemaakt of scherper gesteld. Mettes en Pilot karakteriseren deze problemen als problemen van situatie-specificatie, of kortweg *specificatieproblemen*. Naast specificatieproblemen zijn ook *ontwerp-problemen* (Terlouw, 1987; Van Merriënboer, 1990) en *verklaringsproblemen* (Kramers-Pals, 1994) onderzocht.

2. Probleemoplossingsvaardigheden en de kennis die daarmee samenhangt

Het oplossen van een probleem is de uitvoering van samenhangende serie handelingen. Bij een goede uitvoering (efficiënt, effectief, wendbaar) is er sprake van vaardig gedrag en beschikt de probleemoplosser kennelijk over het vermogen die serie oplossingshandelingen adequaat uit te voeren. Vaardig gedrag, de uitvoering van het probleemoplossingsproces, is gebaseerd op vaardigheid, het vermogen om die handelingen uit te voeren. Taconis (1991) omschrijft een probleemoplossingsvaardigheid als de mate waarin een probleemoplosser beschikt over de mogelijkheid een bepaalde oplossingsactiviteit in bepaalde situaties en omstandigheden uit te voeren. Deze omschrijving perkt een vaardigheid in tot bepaalde activiteiten, situaties en omstandigheden, dus een bepaald domein.

Dijkstra (1990) omschrijft probleemoplossingsvaardigheid als het geoefend vermogen om kennis effectief en adequaat te gebruiken bij het oplossen van zowel goed gestructureerde als minder goed gestructureerde problemen. Ook deze omschrijving houdt een inperking in tot het domein waarin geoefend is en waarin kennis beschikbaar is.

De constatering van Lijnse in dit themanummer dat het bij het oplossen van problemen gaat om inzichtelijk handelen is niet in strijd met bovenstaande omschrijvingen van 'probleemoplossen', maar geeft er een goede samenvatting van. Zonder kennis is vaardigheid niet denkbaar. Het vermogen tot

- A Het lezen en bekijken van de tekst en de figuren van het probleem
- T Tussenfase die één of meer van de volgende activiteiten omvat:
- T1 oriëntatie: het inspecteren en analyseren van de gegevens en/of de gevraagde verklaring op implicaties (situatie-analyse en doelanalyse van totaalprobleem)
- KT1 de controle van de oriëntatie
- T2 procesevaluatie: evaluatie van het tot nog toe verlopen oplossingsproces en het maken van plannen voor het verdere verloop
- B Het omwerken en uitwerken van het probleem, te onderscheiden in:
- B1 de keuze van een (deel-)probleem
- B2 vaststellen of voor het gekozen probleem een routinebewerking beschikbaar is
- B3 het zoeken naar probleemtransformaties voor het gekozen (deel)probleem en de analyse die daarop is gericht
- KB3 de controle van de gekozen betrekkingen en van het zoekproces
- B4 het uitvoeren van probleemtransformaties
- KB4 de controle van de uitvoering van probleemtransformaties
- B5 het vaststellen van het resultaat van de probleemtransformaties
- B6 het uitvoeren van routinebewerkingen
- KB6 de controle van de uitvoering van routinebewerkingen
- B7 het vaststellen van het resultaat van de routinebewerkingen
- B8 de evaluatie en integratie van het resultaat van de routinebewerkingen of probleemtransformaties in het beeld van de situatie
- C De slotfase van het oplossingsproces, bestaande uit:
1. laatste controle en vaststellen van de oplossing
 2. evaluatie van wat geleerd is met het oog op het oplossen van (een klasse) problemen

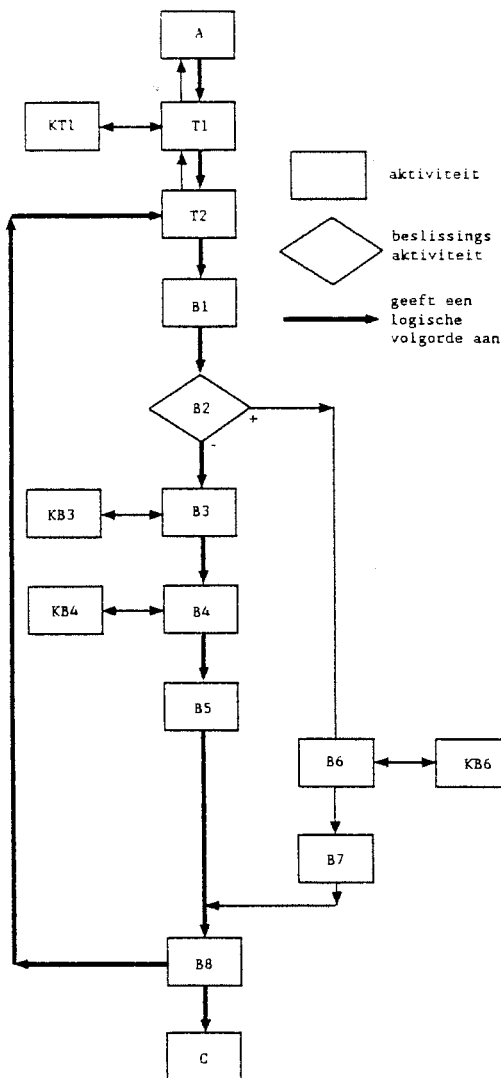


Fig. 1. Samenhang van deelhandelingen in het gewenst handelingsverloop (GHV)

oplossen van problemen in een bepaald domein is een vaardigheid waarbij inzichtelijk toepassen van kennis een cruciale rol speelt.

Deelvaardigheden

Als het oplossen van een probleem opgevat wordt als een serie handelingen, kunnen deelhandelingen worden onderscheiden. In het werk van Mettes en Pilot (1980) en in verschillende projecten die hierop aansluiten zijn de doelstellingen van onderwijs geformuleerd in de vorm van een gewenst handelingsverloop (GHV). In een GHV wordt deelhandelingen die relevant zijn voor het oplossen van problemen in een bepaald domein met elkaar in verband gebracht. GHV's vertonen verschillen per domein en per project. Zij worden ontworpen op grond van zowel empirische als rationele taakanalyses (Resnick, 1976). Figuur 1 geeft een schematische weergave van een GHV voor specificatie- en verklaringsproblemen op het niveau van het scheikunde-eindexamen VWO. Voor een meer gedetailleerde uitwerking wordt verwezen naar Kramers-Pals (1994).

Een adequate uitvoering van elk van de deelhandelingen in een GHV is gebaseerd op een bijpassende deelvaardigheid, waarbij weer kennis inzichtelijk toegepast moet worden. De in figuur 1 opgenomen deelhandelingen zijn nog tamelijk complex en kunnen stuk voor stuk weer verder uiteengerafeld worden (Schoenfeld, 1985). De in een GHV ondergebrachte deelhandelingen betreffen de vakinhoud en verwijzen naar vakinhoudelijke kennis. Handelingen die meer samenhangen met het leerproces, zoals zelfregulatie, zijn niet in dit schema ondergebracht.

Benodigde kennis voor het oplossen van problemen

Bij het oplossen van een probleem is er sprake van een doelgericht proces van manipulatie van kennis (Taconis, 1991). Bijna altijd is de kern van een oplosproces het transformeren van gegevens met behulp van betrekkingen tot het doel is bereikt (Perkins, 1983). Bij het oplossen van problemen spelen betrekkingen, verbanden tussen variabelen en andere concepten, een centrale rol. Ferguson-Hessler (1989) gaat in haar proefschrift in op een doelmatige organisatie van de kennisbasis in een domein voor het oplossen van problemen. Zij beschrijft deze in de vorm van aan elkaar gekoppelde probleemschema's, waarin betrekkingen centraal staan; zie figuur 2 voor een voor scheikundige verklaringsproblemen aangepaste versie.

Dergelijke schema's bleken in recent ontwikkelingswerk goed bruikbaar te zijn bij het ontwerp van onderwijs, waarbij gestreefd is naar een variatie van leerlingactiviteiten, zodanig dat de verschillende hokken in het schema en de relaties ertussen voldoende aandacht en oefening krijgen. Er wordt verder

geëxperimenteerd met de uitwerking van (lege!) schema's door of samen met studenten of leerlingen ter ondersteuning van de reflectie op wat is geleerd.

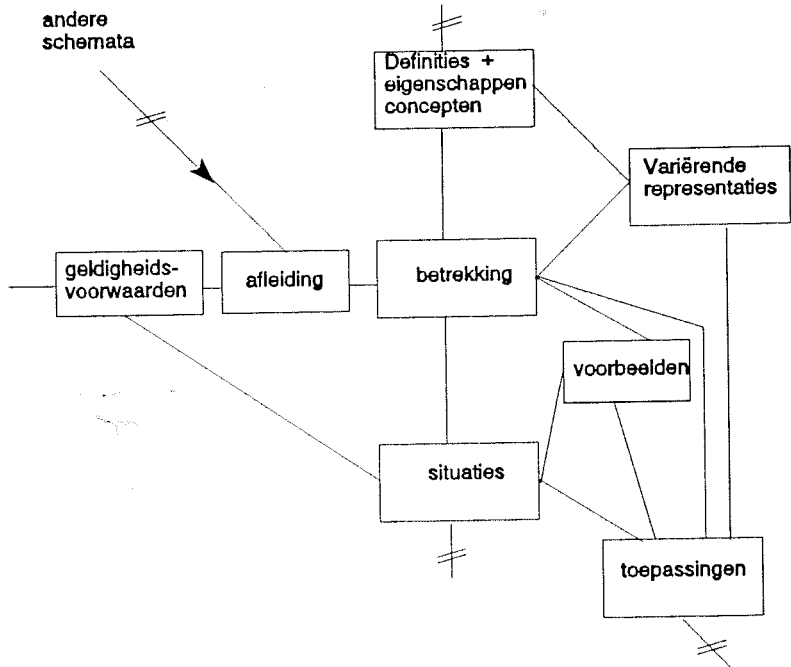


Fig.2. Mogelijke vorm van een probleemschema (ontleend aan Ferguson-Hessler, 1989)

3. Is vaardig gedrag, expertise, domeinafhankelijk?

Zijn probleemoplossingsvaardigheden vakspecifiek (domeingebonden) of algemeen? Deze vraag is niet alleen relevant voor probleemoplossingsvaardigheden, maar ook voor andere cognitieve vaardigheden, zoals het kunnen nemen van adequate beslissingen, kritisch kunnen denken, creatief kunnen ontwerpen. Bij het antwoord op deze vraag zijn twee extreme posities te onderkennen. De specialistische positie is dat expertise context-afhankelijk is. Schaakgrootmeesters zijn experts in schaken en nergens anders in. Hun vaardigheden kunnen niet bij andere onderwerpen worden toegepast. Specifieke kennis over de details van het onderwerp is cruciaal. De generalistische positie is dat expertise in een bepaald onderwerp neerkomt op algemeen

toepasbare denkvaardigheden. Deze omvatten strategieën, kritisch denken, inventief denken, redeneren, beslissen, leren, sturen van eigen denkprocessen. Het leren van bijvoorbeeld Latijn of wiskunde, programmeren of schaken zou (gezien vanuit deze positie) bijdragen tot de vorming van deze algemene denkvaardigheden. Mensen met een hoge IQ of g (waarde voor algemene intelligentie) zouden beschikken over deze algemene denkvaardigheden.

Bij het werk aan probleemoplossen in het kader van de informatieverwerkingstheorie lag in de beginfase de nadruk op de algemene denkvaardigheden. Newell en Simon (1972) werkten een computerprogramma uit, getiteld 'General Problem Solver', waarin ze de mogelijkheden van toepassing van de heuristiek 'doel-middel-analyse' verkenden. In deze periode werden vooral problemen onderzocht waarbij weinig domeinkennis nodig was, zoals dat van de kannibalen en missionarissen. Later breidde het onderzoek zich uit tot semantisch rijke domeinen. Onderzoekers op het gebied van de kunstmatige intelligentie gingen algemene methoden (zoals de doel-middel-analyse) 'weak methods' noemen (Anderson, 1987), nuttig bij gebrek aan beter maar met minder kansen op een succesvolle oplossing van problemen dan de vakkennis die het resultaat was van een langdurige oefening op een bepaald vakterrein. Bij verschillende onderzoekingen bleek bij het bereiken van expertise op één gebied transfer naar andere vakgebieden niet spontaan op te treden. Er was weinig empirische evidentie te vinden voor algemene, context-onafhankelijke vaardigheden die op één bepaald vakgebied waren opgedaan en dan functioneerden op een ander vakgebied (Perkins & Salomon, 1989). De generalistische positie leek te hebben afgedaan.

Recente onderzoekgegevens wijzen erop dat het feit dat transfer niet optreedt ook anders geïnterpreteerd kan worden, namelijk als het ontbreken van voorwaarden voor transfer. Deze zijn verschillend voor wat wel genoemd wordt 'low road transfer' en 'high road transfer' (Perkins & Salomon, 1989). 'Low road transfer' hangt samen met de voorwaarden: zeer veel oefening, oefenen in zeer gevarieerde situaties, waardoor een hoge mate van beheersing ontstaat. Deze voorwaarden werden in de meeste onderzoeksituaties niet vervuld, evenmin als trouwens in het reguliere onderwijs. In de 'high road transfer' wordt veel aandacht besteed aan het bewust en inzichtelijk abstraheren van verbanden en betrekkingen vanuit voorbeelden op verschillende domeinen of deelterreinen.

Verder blijkt dat experts die voor hen onbekende problemen oplossen (geen 'exercises', maar echte 'problems'), wel degelijk terugvallen op 'weak methods'. Deze blijken te functioneren als ondersteuning bij de organisatie

van de domeinkennis. Gepleit wordt voor een tussenpositie (Perkins & Salomon, 1989) waarin het antwoord op de vraag of cognitieve vaardigheden domeingeboden zijn, is: Ja en nee. Nee: omdat algemene vaardigheden bestaan; ja: omdat ze alleen kunnen functioneren in domeinen. Perkins en Salomon vergelijken cognitieve vaardigheden met gereedschap zoals de menselijke hand. De hand als gereedschap past zich aan het object aan: een baby wordt anders aangepakt dan een mand vol wasgoed. Algemene en domeinspecifieke kennis en vaardigheden functioneren in nauwe onderlinge samenhang.

Het is niet zo'n gek aanknopingspunt bij leerplanvernieuwing om na te gaan in welke mate aan algemene vaardigheden kan worden bijgedragen door een specifiek vak. Problemen in een technologische samenleving overschrijden vaak de grenzen van vakken. Als de deelnemers in een technologische maatschappij dienen te beschikken over probleemoplossingsvaardigheden, is het in een steeds veranderende maatschappij van belang dat die vaardigheden niet uitsluitend domeingebonden zijn. Transfer wordt bevorderd door daarop gerichte onderwijsmaatregelen, en in zo algemeen mogelijke termen geformuleerde doelen bieden een iets grotere kans dat expliciet aandacht aan transfer wordt besteed dan wanneer doelen uitsluitend in termen van vakspecifieke kennis en -vaardigheden worden geformuleerd. In de scheikunde wordt op het ogenblik domeinkennis opgebouwd met behulp van 'de' vakstructuur. Hierbij worden belangrijk geachte chemische onderwerpen successievelijk behandeld, bijvoorbeeld zuren en basen, redoxreacties, thermodynamica. Per onderwerp worden opgaven bedacht om de kennis toe te passen. Van Berkel en De Vos (1993) en De Vos (1994) laten zien dat deze vakstructuur historisch bepaald is en opgevat kan worden als een aantal lagen die aangeslibd zijn op de basis van de kennis die een toekomstige chemicus in de 19e eeuw nodig had. Veel van deze kennis is niet meer functioneel. Een analyse van de kennis die relevant is voor bepaalde voor de 21e eeuw gewenst geachte vaardigheden kan een mogelijkheid zijn om te komen tot een nieuwe leerstofselectie.

4. Leren probleemoplossen

In het bovenstaande is nog niet ingegaan op het leren oplossen van problemen. In deze paragraaf wordt het werk op dit terrein aan de Universiteit Twente kort besproken.

Bij onderwijsontwikkelingsprojecten aan de Universiteit Twente waarbij het aanleren van probleemoplosvaardigheden een rol speelt, komen de volgende kernpunten vaak voor:

1. Nagaan waar vooral de moeilijkheden van studenten/leerlingen liggen; keuze voor essentiële moeilijkheden die worden aangepakt.

2. Ontwikkeling van een doelstellingsformulering voor het probleemoplossen in de vorm van een gewenst handelingsverloop (GHV).
3. Ontwikkeling van een kennisstructuur die een adequate basis biedt voor het succesvol oplossen van problemen (isoleren en operationeel maken van de kern van de vakinhoud).
4. Onderwijsontwerp met aandacht voor oriëntatie op de kennisstructuur en de daarmee samenhangende probleemaanpak en met voldoende oefening (mèt begeleiding) en reflectie. Vaak blijkt het nodig om docenten te trainen om begeleiding te geven die (mede) gericht is op het proces van probleemoplossen en op het aanleren van oplosvaardigheden. Probleemoplosvaardigheden worden daarbij zoveel mogelijk als integraal bestanddeel van de vakkennis ontwikkeld.

Taconis en Ferguson-Hessler noemen in dit themanummer het door Mettes en Pilot geïnspireerde onderwijs 'de SPA-methode'. Als karakteristieken noemen zij de 'aanbieding van een heuristiek' en de stapsgewijze ontwikkeling van mentale handelingen. Hoewel deze omschrijving op zichzelf niet onjuist is, leidt deze gemakkelijk tot misverstanden.

Het eerste misverstand is dat het ontwikkelde onderwijs zich beperkt tot deze twee aspecten. Dit is bij het in de lijn van Mettes en Pilot ontwikkelde onderwijs nooit het geval, zoals bij het vierde kernpunt is aangegeven. Aandacht voor de probleemaanpak is slechts een deelaspect van de ontwikkeling van de vakkennis.

Het tweede misverstand ontstaat door gebruik van de term 'de' in 'de SPA-methode'. Dit zou kunnen leiden tot de conclusie dat er maar één 'methode' en één SPA is. De opmerking van Lijnse in zijn artikel in dit themanummer wijst hierop. Hij beschrijft 'de' SPA als een globale heuristiek die mogelijk enig houvast geeft voor de reflectie op eigen handelen, maar onvoldoende inhoudelijk is om meer dan beperkte effecten te sorteren. In het werk van Mettes en Pilot zelf en het door hen geïnspireerde werk is echter nooit sprake van 'de SPA', altijd van 'een SPA'. Een SPA is een leermiddel waarin een aantal heuristische aanwijzingen voor de volgorde en het verloop van handelingen zijn opgenomen.

Heuristisch betekent dat deze aanwijzingen de kans op een succesvolle aanpak van het probleem vergroten. Ze bieden echter geen garantie voor succes. Aanwijzingen betekenen: tips, suggesties, en zeker geen dwingend te volgen voorschriften. De belangrijkste eis die aan een SPA gesteld wordt is dat de leerlingen deze ervaren als effectief. Vakdidactisch onderzoek- en ontwikkelingswerk is nodig om na te gaan of dit in een bepaalde onderwijssituatie het geval is. Een goed voorbeeld van dergelijk ontwikkelingswerk is te vinden in het artikel van De Jong en Verdonk in dit themanummer. Als een SPA algemeen geformuleerd kan worden en toch effectief is heeft een

dergelijke formulering de voorkeur. Daardoor kan transfer worden bevorderd.

Het derde misverstand hangt samen met de term 'aanbieding' die soms wordt geïnterpreteerd als opdringen of verplichten. De effectiviteit van een SPA hangt samen de bruikbaarheid ervan. Die hangt onder andere af van het moment en de wijze van aanbieden. Van Streun gaat hier in dit themanummer verder op in. 'Aanbieden' van een SPA dient gekoppeld te zijn aan door lerenden ervaren moeilijkheden, waarbij een zorgvuldige dosering nodig is.

Opgemerkt zij dat zowel het door Van Streun als de door De Jong en Verdonk beschreven onderwijs veel elementen gemeen heeft met het onderwijs dat in de 'Twentse' projecten is ontwikkeld. De verschillen zitten voornamelijk in de wijze van formulering van doelstellingen. Voor een meer gedetailleerde beschrijving van 'Twentse' projecten wordt verwezen naar de hieronder genoemde publicaties.

Voorbeelden van 'Twentse' projecten

De in de vorige paragraaf genoemde vier kernpunten vormden de basis van het werk van Mettes en Pilot aan een cursus Thermodynamica. De titel van hun proefschrift (1980), "Over het leren oplossen van natuurwetenschappelijke problemen" laat zien dat zij daarbij aandacht hebben besteed aan mogelijkheden om hun ervaringen naar andere 'vakken' bij de natuurwetenschappen te vertalen. Gezien de opvallende verbetering van de studieresultaten bij Thermodynamica volgden al spoedig andere projecten op universitair en HBO-niveau, bijvoorbeeld bij Elektriciteit en Magnetisme, Mechanica, Wiskunde, Algemene Chemie en Fysische Transportverschijnselen. Terlouw (1987) zag kans om de kernpunten van de aanpak van probleemoplosvaardigheden te vertalen naar een ander type problemen, en wel ontwerproblemen op bestuurskundig terrein (beleidsontwerpen). Als vervolg hierop is er gewerkt op het terrein van de economie, bedrijfskunde, recht, communicatie en informatica. Kramers-Pals (1994) deed onderzoek en ontwikkelingswerk op het gebied van verklaringsproblemen bij de scheikunde (niveau: eind-examenopgaven VWO).

Al geruime tijd worden computerprogramma's ontwikkeld voor ondersteuning van het leren probleemoplossen met Computer Ondersteund Onderwijs (COO), bijvoorbeeld bij Elektriciteit en Magnetisme, Mechanica en Fysische Transportverschijnselen. Het gaat daarbij vooral om het ondersteunen van het proces van aanpak van complexe problemen. Kramers-Pals (1994) ontwikkelde voor Scheikunde-VWO twee verschillende computerprogramma's. Eén computerprogramma ondersteunt de leerlingen bij het oefenen met eind-examenopgaven (zowel specificatie- als verklaringsproblemen). Het tweede programma biedt een oriëntatie op een deelsysteem van heuristieken, en wel

het controleren van de uitwerking van verklaringsproblemen. De programma's kunnen direct door leerlingen worden gebruikt, maar zijn ook van belang voor docententraining; docenten kunnen er ideeën aan ontleen voor de begeleiding van het proces van aanpak.

Ervaringen

Bij de projecten aan de Universiteit Twente waarbij aandacht werd besteed aan alle vier kernpunten die boven genoemd zijn, waren er meestal duidelijke verbeteringen in studieresultaten. De verbetering is geruime tijd stabiel. Een terugval treedt op wanneer een nieuwe docent het vak gaat geven die probleemoplosvaardigheden niet zo belangrijk vindt. Dan is er in de colleges geen aandacht voor oriëntatie hierop, nieuwe werkcollegedocenten krijgen geen training (meer) in begeleidingsvaardigheden en het vak wordt vrij snel weer een struikelblok.

Bij de projecten voor het voortgezet onderwijs (Jansen & Hondebrink, 1991; Kramers-Pals, 1994) was het nooit mogelijk om alle bovenstaande kernpunten aan te pakken. De experimenteeruimte was doorgaans beperkt tot enkele lesuren. Alle onderzoekliteratuur wijst erop dat het aanleren van probleemoplosvaardigheden en andere cognitieve strategieën een langdurig proces is. Je leert dat niet in een paar lessen. De instructie moet goed worden gedoseerd: leerlingen moeten het als relevant en functioneel ervaren. In het leerproces moet daarbij veel aandacht besteed worden aan zelfregulatieaspecten.

De ervaring van de docenten van het Project Bovenbouw Scheikunde (Hondebrink & Jansen, 1991) was dat explicitering van een probleemaanpak, zowel voor de leerlingen als zeker ook voor de docenten, nog niet zo eenvoudig was. Het verleggen van de aandacht van "Wat is het antwoord?" naar "Hoe pak je de opgave aan?" vergt een ingrijpende verandering in het gedrag van (veel) docenten en leerlingen.

Literatuur

- Anderson, J.R. (1987). Skill acquisition: Compilation of weak-method problem solutions. *Psychological Review*, 94, 192-210.
- Berkel, B. van & W. de Vos (1993). Structures in School Chemistry. In H. Kramers-Pals & G. Niehaus (Eds.), *Chemiedidaktische Forschung, Lopend onderzoek in de chemiedidaktiek* (pp.25-33). Essen: Westarp Wissenschaften.
- Dewey, J. (1916). *Democracy and education: An introduction to the philosophy of education*. New York: Macmillan.
- Dewey, J. (1971). *How we think*. Chicago: Henry Regnery.

- Duncker, K. (1926). A qualitative (experimental and theoretical) study of productive thinking (solving of comprehensible problems. *Pedagogical Seminars*, 33, 642-708.
- Duncker, K. (1945, oorspronkelijke uitgave 1935). *On problem-solving*. In Psychological Monographs, 58. Washington D.C.: The American Psychological Association.
- Dijkstra, S. (1990). The description of knowledge and skills for the purpose of instruction. In S. Dijkstra, B.H.A.M. van Hout-Wolters & P.C. van der Sijde (Eds.), *Research on instruction: design and effects*. Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications.
- Ferguson-Hessler, M.G.M. (1989). *Over kennis en kunde in de fysica*. Dissertatie. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven.
- Hiele, P.M. van (1957). *De problematiek van het inzicht*. Purmerend: Muusses.
- Hiele-Geldof, D. van (1957). *De didactiek van de meetkunde in de eerste klas van het V.H.M.O.* Dissertatie. Utrecht: Rijksuniversiteit Utrecht.
- Hondebrink, J.G. & G. Jansen (1991). Leren opgaven maken. *NVON-maandblad*, 16, 320-321
- James, W. (1890). *The principles of psychology*. New York, Dover.
- Jansen, G. & J.G. Hondebrink (1991). *Hoe pak ik een probleem aan?* Instructieboekje voor leerlingen (AN 4.314.6498); docententoelichting (AN 4.314.6499). SLO, Enschede.
- Kramers-Pals, H. (1994). *Leren oplossen van verklaringsproblemen in het scheikunde-onderwijs*. Dissertatie. Enschede: Universiteit Twente.
- Kramers-Pals, H., J. Lambrechts & P.J. Wolff (1982). Recurrent difficulties: solving quantitative problems. *Journal of Chemical Education*, 59, 509-513.
- Kuljutkin, J.N. (1970). Heuristische methoden in het oplossingsproces. In C.F. van Parreren & W.A. van Loon-Vervoorn (Red.), *Teksten en analyses Sovjetpsychologie 1: Denken*. Groningen: Tjeenk Willink.
- Larkin, J.H. (1979). Information processing models and science instruction. In J. Lochhead & J. Clement (Eds.), *Cognitive process instruction* (pp.109-119). Philadelphia, PA: The Franklin Institute Press.
- Merriënboer, J.J.G. van (1990). *Teaching introductory computer programming. A perspective from instructional technology*. Dissertatie. Enschede: Universiteit Twente.
- Mettes, C.T.C.W. & A. Pilot (1980). *Over het leren oplossen van natuurwetenschappelijke problemen*. Dissertatie. Enschede: Universiteit Twente.
- Newell, A. & H. Simon (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

- Perkins, D.N. (1983). *Problem theory*. Cambridge, MA: Bolt, Beranek & Newman.
- Perkins, D. & G. Salomon (1989). Are cognitive skills context-bound? *Educational Researcher*, 16, 16-25.
- Reitman, W.R. (1965). *Cognition and thought*. New York: Wiley.
- Schoenfeld, A.H. (1985). *Mathematical problem solving*. New York: Academic Press.
- Simon, H.A. (1973). The structure of ill-structured problems. *Artificial Intelligence*, 4, 181-201.
- Taconis, R. (1991). De aansluitingsproblematiek voortgezet-hoger onderwijs vanuit het perspectief van probleemoplossen bij het vak natuurkunde. In B.H.A.M. van Hout-Wolters & L.F.W. de Klerk (Red.), *ORD '91. Onderwijsleerprocessen: cognitie en motivatie* (pp. 183-193). Amsterdam: Stichting Centrum voor Onderwijsonderzoek.
- Terlouw, C. (1987). De FUNDES-procedure in onderwijsontwikkeling. Dissertatie. Enschede: Universiteit Twente.
- Vos, W. de (1994). Chemie-onderwijs: voor wie? *NVOX*, 15, 109-113.
- Wallas, G. (1926). *The art of thought*. New York: Harcourt & Brace.
- Wertheimer, M. (1959). *Productive thinking*. New York: Harper & Row.