

HET EFFECT VAN EEN INSTRUCTIE VAN EEN STRATEGIE VOOR HET OPLOSSEN VAN NATUURKUNDIGE PROBLEMEN DOOR EERSTEJAARS STUDENTEN

Ton de Jong
Groep Onderwijsresearch
TH Eindhoven

Monica G. M. Ferguson-Hessler
Afdeling der Technische
Natuurkunde
TH Eindhoven

SAMENVATTING

Binnen de groep Onderwijsresearch aan de TH Eindhoven wordt sinds enige tijd onderzoek gedaan naar het oplossen van vakinhoudelijke, technische problemen, zie bijvoorbeeld Vaags (1975). Het meest recent is een onderzoek naar strategiegebruik bij het oplossen van problemen in het vakgebied Electriciteit & Magnetisme (E&M). Een groep eerstejaars studenten Electrotechniek (n=10) ontving naast een reguliere cursus E&M een extra instructie in een (algemeen geformuleerde) strategie. Een andere groep (n=6) volgde alleen de cursus en fungeerde als controlegroep.

Resultaten wijzen uit dat de extra instructie niet het beoogde effect opleverde: de experimentele groep ging na de extra instructie niet meer volgens de strategie werken. Ook bij een tweedeling in goede en foute oplossingen kon geen onderscheid in strategiegebruik geconstateerd worden. Naast een (summiere) beschrijving van dit onderzoek bevat dit paper het algemene kader waarin het onderzoek plaatsvond en wordt ingegaan op mogelijkheden voor vervolgonderzoek.

INLEIDING

Achtergrond van het onderzoek.

Het oplossen van vakinhoudelijke problemen kan gezien worden als in hoofdzaak bepaald door drie factoren:

- kenmerken van het probleem
- het kennisrepertoire van de oplosser
- individuele kenmerken van de oplosser.

Dat kenmerken van het probleem het oplosgedrag van een oplosser mede bepalen hoeft nauwelijks toelichting. Elk probleem stelt weer andere eisen, al was het alleen maar dat bij verschillende problemen verschillende vakinhouden of verschillende delen van een vakinhoud aan bod komen. Daarnaast verschillen problemen in complexiteit etc. Taakanalyse houdt zich met dit soort vragen bezig (Resnick, 1976). Stephens, Bhaskar & Dillard (1981) hebben bijvoorbeeld tot op detail bloot wat vereist wordt door problemen in het vakgebied boekhouden.

Individuele kenmerken, zoals cognitieve stijl, zullen waarschijnlijk ook invloed hebben op het oplosgedrag. Flaherty (1975) maakt bijvoorbeeld een onderscheid tussen verbale en fysieke probleemoplossers.

Individuele kenmerken hebben de meeste speelruimte bij taken waar cognitieve activiteiten niet al te sterk beperkt worden door de uit te voeren taak zelf. Bij open, creativiteit vereisende, problemen zal deze speelruimte het grootst zijn.

De problemen waar wij ons met het onderzoek op richten zijn problemen zoals ze voorkomen op (natuurkunde-) tentamens voor TH studenten en dan met name eerstejaars studenten. Wanneer uitgegaan wordt van deze bestaande problemen dan liggen de probleemkenmerken vast. Daarnaast zullen bij dit soort problemen individuele kenmerken geen dominerende rol spelen bij het oplossen. Bovendien zijn individuele kenmerken niet eenvoudig beïnvloedbaar. Dit maakt de factor 'kennisrepertoire' de meest interessante factor om te onderzoeken.

Het kennisrepertoire.

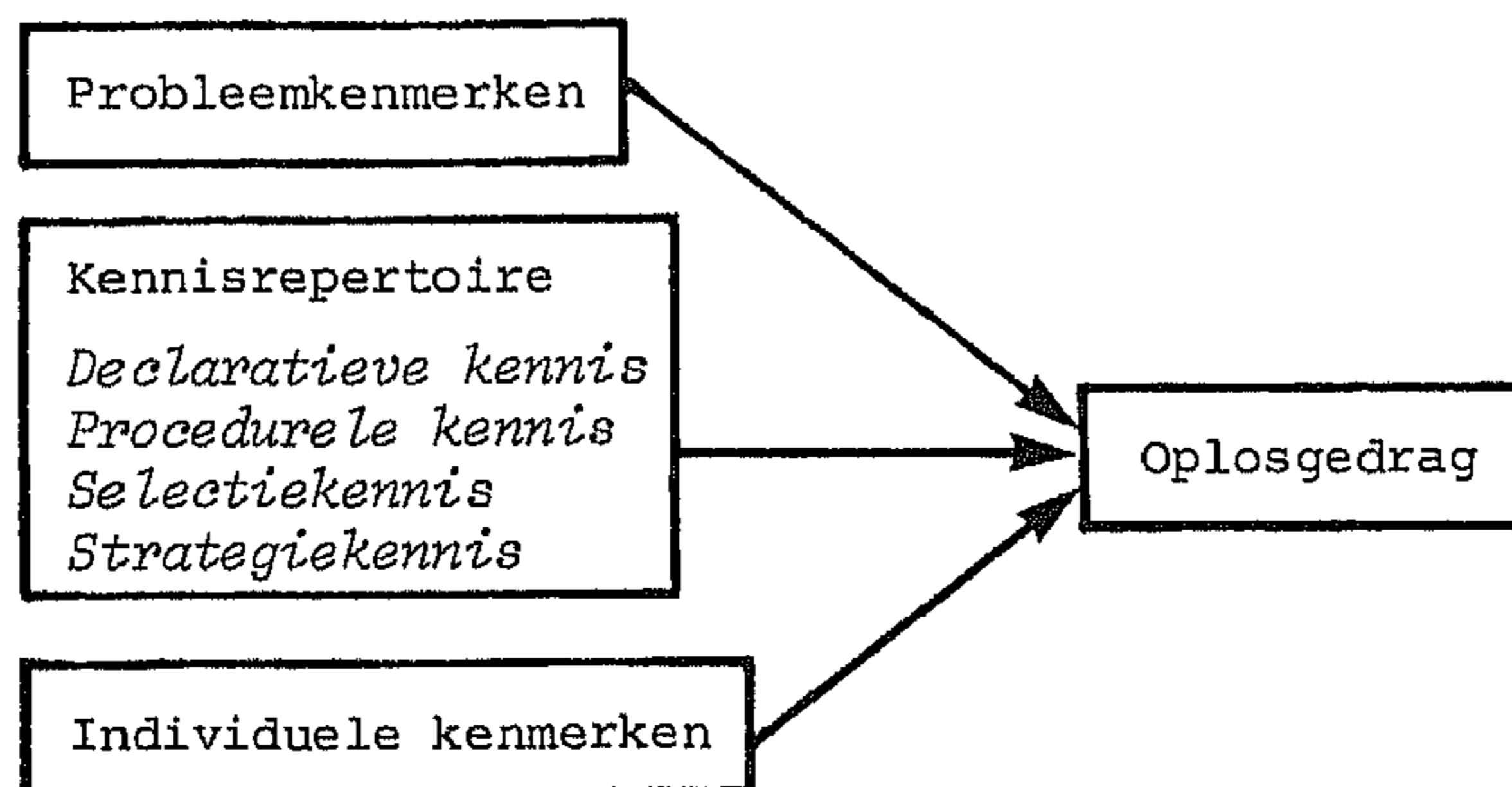
Alle kennis die een oplosser bezit en waarmee hij het probleem te lijf gaat vatten we samen onder het begrip *kennisrepertoire*. Binnen dit kennisrepertoire hebben we vier componenten onderscheiden.

Onder *declaratieve kennis* verstaan we kennis over feiten, principes, formules etc. uit een bepaald vakgebied. Bij het oplossen wordt declaratieve kennis uit het geheugen gehaald en aan de informatie die in het probleem gegeven is toegevoegd. Om de oplossing van een probleem te bereiken is alleen declaratieve kennis niet voldoende. Bij de oplossing van een natuurkundig probleem is het naar voren halen van formules, al zijn ze relevant, niet toereikend voor het vinden van de oplossing. Essentieel voor problemen is dat er manipulaties met het voorhanden zijnde materiaal, in het probleem verschaft en uit het geheugen opgediept, plaats moeten vinden. Kennis over hoe deze acties uit te voeren noemen we *procedurele kennis*. Procedurele kennis kan zeer vakspecifiek zijn maar ook meer algemeen toepasbaar.

Selectiekennis is de derde component. Geconfronteerd met een probleem moet een oplosser weten welke delen van zijn procedurele en declaratieve kennis hij uit zijn geheugen moet selecteren. Hiervoor hebben we de term selectiekennis gereserveerd. Selectiekennis kan expliciet aanwezig zijn maar kan ook 'verborgen' zijn in de organisatie van het geheugen (vergelijk Mayer, 1982). Selectiekennis brengt probleemkenmerken, declaratieve en procedurele kennis bij elkaar. Beginners in een vakgebied zal het vaak aan een hechte organisatie ontbreken. Voor hen lijkt het expliciet maken van de selectiekennis in eerste instantie van groot belang. Algoritmen en heuristische bijvoorbeelden bevatten naast procedurele kennis ook selectiekennis door aan te geven wanneer een procedure toepasbaar is.

Als vierde en laatste component kunnen we *kennis van strategie* onderscheiden. Onder een strategie verstaan we een algemeen actieplan waarin is vastgelegd in welke volgorde stappen in het oplosproces plaatsvinden. Een strategie onderscheidt zich van een procedure doordat een strategie zeer grote delen van het oplosproces of het gehele oplosproces omvat en bovendien generaliseerbaar is over een zeer groot aantal problemen en eventueel vakinhouden. De component strategie is dus de minst specifieke en minst vakinhoudelijk gerichte component van de vier hier onderscheiden componenten. Dat neemt niet weg dat een strategie domeingebonden kan zijn in die zin dat binnen een bepaald domein een bepaalde strategie het meest adequaat is.

In schema weergegeven ziet het voorafgaande er als volgt uit:



Figuur 1: Factoren die het oplosgedrag beïnvloeden

De vier componenten uit het kennisrepertoire worden hier apart genoemd maar zijn in het kennisrepertoire niet gescheiden opgeslagen. De mate waarin en de wijze waarop deze componenten verweven zijn, met andere woorden de organisatie van het kennisrepertoire is een interessant onderwerp voor bestudering en onderzoek (zie bijvoorbeeld Chi, Feltovich & Glaser, 1981 en Chi, Glaser & Rees, 1982).

De rol van een strategie bij het oplossen.

Het belang van specifieke vakinhoudelijke kennis voor het oplossen van problemen is evident. Daarnaast wordt het ontbreken van een goede strategie vaak als oorzaak gezien voor het falen bij oplossen van problemen door beginners in een vakgebied. Beginnende studenten lijken ongeordend te werk te gaan en daardoor het overzicht bij het oplossen te verliezen.

Het hanteren van een goede strategie minimaliseert de kans op dwaalwegen en daardoor op verstriking in het probleem. Een goede strategie zorgt ervoor dat er geen essentiële fasen in het oplosproces overgeslagen worden. Bovendien hoort een goede strategie controles te bevatten.

Lowe (1982) wijst er daarnaast op dat het volgen van een expliciete strategie meer mogelijkheden tot communicatie tussen studenten onderling biedt. Daar kan aan toegevoegd worden dat dan ook de communicatiemogelijkheden tussen student en docent bevorderd worden, zodat de vaardigheden die nodig zijn bij het oplossen van problemen wellicht beter onderwezen kunnen worden.

Het ontwerpen of ontdekken van een strategie wordt in het onderwijs meestal aan de studenten zelf overgelaten. Betwijfeld mag worden of studenten dan zelf een goede strategie ontwikkelen. In een eerste onderzoek wilden we nagaan of studenten die naast het reguliere onderwijs een instructie in het volgen van een strategie ontvingen, meer volgens de onderwezen strategie gingen werken bij het oplossen van problemen en diensengevolge ook betere resultaten behaalden.

Hierna volgend wordt het uitgevoerde onderzoek kort beschreven. Een meer uitgebreid verslag kan gevonden worden in De Jong & Ferguson-Hessler (1983 en in druk).

METHODE

Proefpersonen.

Deelnemers aan het onderzoek waren eerstejaarsstudenten Electrotechniek aan de TH Eindhoven. Zij volgden allen een SPS-cursus Electriciteit en Magnetisme. Deze cursus heeft een nominale studielast van 100 uur. De aan het onderzoek deelnemende studenten hadden eindexamencijfers die de veronderstelling rechtvaardigden dat zij een redelijke en zeker niet bovenmatige aanleg voor het vak hadden. Deelname aan het onderzoek gebeurde bij inschrijving na een introductiebijeenkomst, op basis van vrijwilligheid.

Materiaal.

Voor het onderzoek werd een strategie ontwikkeld die voldeed aan de eisen die aan een goede strategie gesteld kunnen worden. Bij het opstellen van de strategie werd het 'gewenst handelingsverloop' (GHV) uit de onderzoeken van Mettes & Pilot (1980) en Van Weeren, Kramers-Pals, de Mul, Peters & Roossink (1979) als inspiratiebron gebruikt. We hebben daarom veel van de door hen gehanteerde terminologie overgenomen. De hier gepresenteerde strategie bevat in tegenstelling tot het GHV echter geen (vak-) specifieke invullingen.

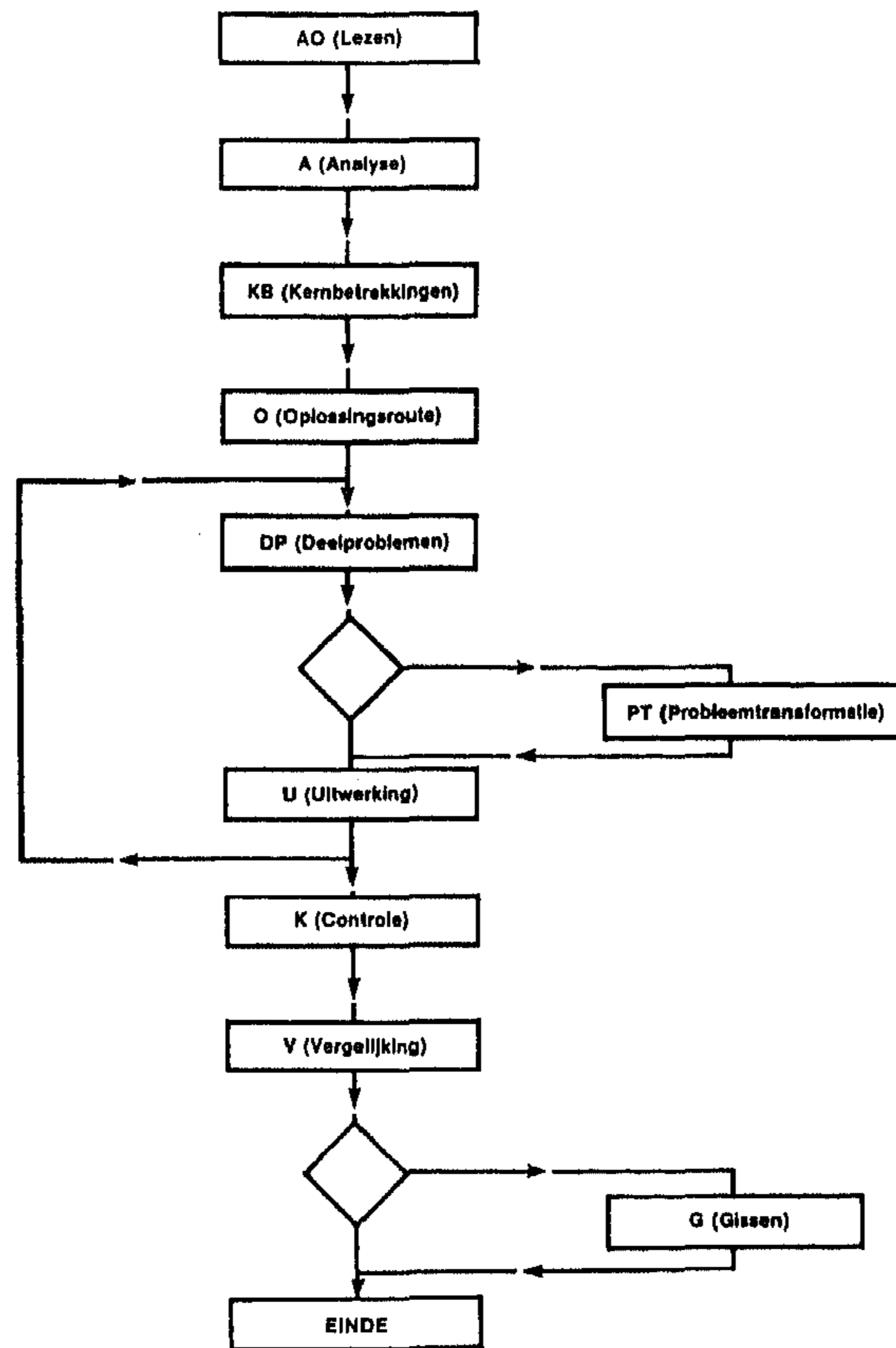
Het oplossen van een probleem volgens de strategie betekent het uitvoeren van het oplosproces in een aantal fasen in een voorgeschreven volgorde. De daar van afgeleide 'ideale oplossingsweg' wordt in figuur 2 weergegeven. Deze ideale oplossingsweg kan in woorden als volgt worden uitgedrukt: In de 'Analysefase' moet de student zich een helder beeld vormen van de gegeven situatie en het gevraagde. Vervolgens moeten 'Kernbetrekkingen' (zie Mettes & Pilot, 1980) geselecteerd worden met behulp waarvan de kloof tussen gegevens en het gevraagde overbrugd kan worden. Daarna wordt in de fase 'Oplossingsroute' een (inhoudelijk) plan voor de oplossing gezocht en opgesteld waarbij nog niet gerekend mag worden. In de fasen 'Probleemtransformatie' en 'Uitwerking' worden vervolgens alle opgestelde '(Deel-)problemen' volgens het opgestelde plan opgelost. Is dan een voorlopig eindantwoord gevonden dan vindt er een 'Controle' plaats. De fasen 'Vergelijken' en 'Gissen' zijn toegevoegd omdat een groot deel van de problemen uit het onderzoek van het meerkeuzetype waren (het betrof overigens altijd 'volwaardige' problemen). Vergelijken betreft dan het vergelijken van het gevonden antwoord met de aangeboden alternatieven, gissen betreft het kiezen van een antwoord op grond van niet fysische argumenten.

Procedure.

Een deel van de deelnemers (n=10) ontving in zes bijeenkomsten van elk een uur een extra instructie over de strategie. In deze bijeenkomsten werd ook geoefend met het oplossen volgens de strategie. De rest van de deelnemers (n=6) ontving geen extra instructie en fungeerde als controlegroep (zij volgden gewoon de cursus). De verdeling over beide groepen vond in principe a-select plaats. Door verschillende oorzaken kon dit a-selecte karakter niet geheel gehandhaafd blijven. Zo viel er een persoon uit tijdens het onderzoek en werd iemand toegelaten die zelf voor de experimentele groep koos (zie ook De Jong & Ferguson-Hessler, 1983 en in druk).

Om het effect van de instructie na te kunnen gaan legden alle deelnemers aan het onderzoek twee toetsen uit de SPS-cursus (een voor en een

na de extra instructie) hardop denkend af. De zo verkregen protocollen werden geanalyseerd om te zien in hoeverre de studenten volgens de strategie te werk gingen.



Figuur 2: De ideale oplossingsweg (uit De Jong & Ferguson-Hessler, in druk).

RESULTATEN

Effectmeting.

Als hulpmiddel voor de analyse van de protocollen werd een analyseschema opgesteld. In dit analyseschema werden de tien fasen uit de ideale oplossingsweg verder gespecificeerd naar in totaal 29 cognitieve handelingen. Van elke cognitieve handeling werd een zo nauwkeurig mogelijke beschrijving gegeven en werden enkele typische voorbeelden gegeven.

Ter illustratie een van de cognitieve handelingen uit de fase probleemtransformatie:

PT.1. Het specificeren van een algemene kernbetrekking naar het probleem. Bijvoorbeeld het kiezen van een kring resp. oppervlak bij het toepassen van een integraalstelling. Ook het vervangen van algemene grootheden die van toepassing zijn op het probleem valt hieronder voor zover deze vervanging niet een zuivere invulling is.

Voorbeelden:

-.....pakken we een kring waarbij de oppervlaktestroom gepakt zal worden.

-kringintegraal $B_g ds$; dan ga ik dus kijken met een cirkel met straal r , die ook weer concentrisch is. Daarop is B constant.

-.....dan kies ik een gaussoppervlak met straal r hier ergens tussen in.

Het analyseschema moest met grote nauwgezetheid worden geformuleerd omdat de analyse van de protocollen rechtstreeks van de band plaatsvond. Bij deze analyse kon gebruik gemaakt worden van de bandopname, de aantekeningen van de student en aantekeningen van de student-assistent die bij de opname aanwezig was geweest. Deze had bij elke aantekening van de student genoteerd bij welk nummer van de teller van het bandopnameapparaat deze aantekening hoorde. Zo konden het schriftelijk werk en de bandopname op elkaar betrokken worden. De analyse van de bandopname vond telkens door twee personen plaats, meestal beide onderzoekers. Daarbij werd elke opmerking van de oplosser geplaatst binnen een cognitieve handeling. Als resultaat hiervan kon het oplosgedrag als een sequentie van cognitieve handelingen en dus van fasen beschreven worden.

Om een indruk te krijgen van de betrouwbaarheid van deze methode werden 10 protocollen een tweede keer geanalyseerd. Tussen beide beoordelingen lag een periode van ongeveer 6 maanden. In het onderzoek werden in totaal 127 protocollen beoordeeld. Er mag daarom aangenomen worden dat bij de tweede beoordeling een herinnering aan de eerste beoordeling geen rol meer speelde.

In tabel 1 staan de resultaten. Het percentage overeenstemming in deze tabel is 81%. De onbetrouwbaarheid van 19% wordt grotendeels veroorzaakt door de frequentie in de laatste kolom en de onderste rij. Deze betekenen dat bij de ene beoordeling een opmerking van de oplosser wel en bij de andere beoordeling deze opmerking niet benoemd werd. Opmerkingen die bij beide beoordelingen in een fase van de strategie geplaatst werden, werden in 97,4% van de gevallen in dezelfde fase geplaatst (Kappa, Cohen 1960, is .969). Dit betekent dat het analyseschema bijzonder betrouwbare benoemingen in de vermelde fasen mogelijk maakt (bij benoeming in de meer specifieke (29) categorieën is de overeenstemming lager). Het rechtstreeks van de band analyseren kan er echter toe leiden dat wel eens een opmerking van een oplosser gemist kan worden. (De fase Gissen (G) uit de ideale oplossingsweg ontbreekt hier omdat elk protocol geanalyseerd werd tot het eerste antwoord gegeven werd. De fase Gissen kwam hierbij niet voor).

Zoals opgemerkt betekent het oplossen volgens de strategie dat het oplosproces in een sequentie van fasen plaatsvindt zoals aangegeven in de ideale oplossingsweg. Nadat elk protocol beoordeeld was en dus elke oplossing als een sequentie van fasen beschreven kon worden werd van elke overgang tussen fasen bepaald of deze conform of niet conform de onderwezen strategie was. De resultaten hiervan werden vervolgens voor elke

conditie gesommeerd. (Zie voor een uitgebreide beschrijving hiervan De Jong & Ferguson-Hessler, 1983 en in druk).

1e beoordeling

		AO	A	Kb	O	DP	PT	U	K	V	-		
2e be- oorde- ling	AO	10									2	12	
	A		15								1	16	
	Kb			16							1	17	
	O				1		1					2	
	DP					3	1				4	8	
	PT						6					6	
	U							14				14	
	K								1			1	
	V										9	1	10
	-				4		1			1	1		7
			10	15	20	1	4	8	14	2	10	9	93

Tabel 1: De betrouwbaarheidsbeoordeling.

Resultaten.

In Tabel 2 worden de percentages overgangen conform en niet conform de strategie voor elke conditie gegeven. Tevens wordt voor elke conditie het aantal opgaven en het totaal aantal overgangen tussen fasen daarin vermeld. Blok 2 is de toets uit de SPS-cursus die voor de extra instructie afgenomen werd, en Blok 9 is de toets na de extra instructie. Tevens wordt het totaal aantal geanalyseerde opgaven in elke groep vermeld. Het aantal opgaven in een toets dat niet geschikt was voor opname in dit onderzoek (bijvoorbeeld omdat geen volledige oplossing van een probleem vereist werd) kon verschillen tussen studenten.

	conform	niet conform	opgaven	
CONTROLEGROEP	51%	49%	25	Blok 2
EXPERIMENTELE GROEP	50%	50%	38	Blok 2
CONTROLEGROEP	47%	53%	24	Blok 9
EXPERIMENTELE GROEP	47%	53%	40	Blok 9

Tabel 2: Vergelijking tussen de experimentele en de controlegroep.

Uit de tabel blijkt dat de experimentele groep na de extra instructie niet minder afweek van de strategie dan voor de extra instructie en ook niet minder afweek dan de controlegroep. De verschillen die er zijn, zijn te klein om een interpretatie te rechtvaardigen. Wanneer de protocollen uit de betrouwbaarheidsbeoordeling op deze manier worden opgeteld dan

ontstaan tussen de 1e en 2e beoordeling verschillen van dezelfde orde van grootte als hier aanwezig. De conclusie moet dan ook zijn dat de extra instructie geen effect heeft gehad.

Uit de gegevens bleek tevens dat voor elke groep, zowel bij blok 2 als bij blok 9, hetzelfde oplospatroon kenmerkend was. Beginnende studenten hebben waarschijnlijk een sterk ingewortelde en stereotype probleemaanpak. In het kort komt de door de studenten gehanteerde strategie er op neer dat zij na een (onvolledige) analyse een formule selecteren en hiermee aan het werk gaan. Komen ze er op deze manier niet uit dan wordt in het uiterste geval, als een soort redmiddel, getracht een oplossingsroute op te stellen. Deze directe, ongecompliceerde manier van oplossen noemen we de 'kick and rush' benadering. Deze probleemaanpak bleek door de, qua omvang relatief geringe, extra instructie niet te doorbreken.

Een indruk van de waarde van de component strategie voor het bereiken van de goede oplossing kon verkregen worden door de goede en foute oplossingen in beide blokken te sommeren. Zowel bij de goede als de foute oplossingen kwam hetzelfde, reeds geschetste, 'kick and rush' oplospatroon naar voren. Er kon tussen goede en foute oplossingen slechts een onderscheid gemaakt worden in aantallen gemaakte vakinhoudelijke fouten en rekenfouten. Hieruit concludeerden we dat de component strategiekennis voorlopig minder aandacht verdient dan meer specifiek, vakinhoudelijk gerichte componenten van het kennisrepertoire.

DISCUSSIE

Aandacht voor meer vakspecifieke kennis vinden we in recent onderzoek terug. (Anderson, 1982, Anderson, Greeno & Kline, 1981, Chi, Feltovich & Glaser 1981, Chi, Glaser & Rees, 1982). Daarbij wordt vooral gekeken naar verschillen in kennisrepertoires tussen beginners en experts in een vakgebied.

Een analyse van gemaakte fouten kan enig licht werpen op inadequaatheden in het kennisrepertoire van studenten. Momenteel worden de fouten die studenten in het boven omschreven onderzoek maakten geïnventariseerd en geanalyseerd (Ferguson-Hessler & De Jong, in voorbereiding). Een van de (voorlopige) conclusies daaruit is dat het studenten ontbreekt aan selectiekennis. Een veel voorkomende fout is dat een niet geldige kernbetrekking gebruikt wordt. De formule $Q = \rho V$ wordt dan bijvoorbeeld gebruikt in situaties waar de ladingsdichtheid niet homogeen is, terwijl deze formule alleen geldig is in situaties waar de ladingsdichtheid homogeen verdeeld is. Dezelfde fout wordt gemaakt met $\phi = B A$ en $U_{ind.} = B v l$ waar B niet homogeen is. Dit soort fouten kan er ook op duiden dat formules voor niet homogene en homogene situaties gescheiden zijn opgeslagen, met andere woorden de organisatie van het kennisrepertoire lijkt niet adequaat.

Onderzoek naar de inhoud, vorm en organisatie van het kennisrepertoire moet geen eindpunt van onderzoek zijn. Glaser (1982) geeft aan dat het uiteindelijk er om gaat hoe competentie (een adequaat kennisrepertoire) verkregen wordt. Een kennisrepertoire wordt opgebouwd tijdens bestudering van leerstof. Onderzoek naar bestuderingprocessen lijkt daarom een interessante richting van onderzoek. Wouters & De Jong (1982) toonden aan dat met de methode van protocolanalyse redelijk betrouwbare informatie over bestuderingprocessen te verkrijgen is. Met dit soort onderzoek kunnen verschillen tussen beginners opgespoord worden die een mogelijke verklaring voor het al dan niet succesvol zijn bij probleemoplossen zouden

kunnen geven. Dat onderzoek moet dan een antwoord kunnen geven op vragen als:

- wordt nieuwe kennis aan aanwezige voorkennis gerelateerd en op welke wijze ?
 - worden er binnen de leerstof zelf verbanden gelegd ?
 - worden er vakspecifieke procedures geëxpliciteerd ?
 - wordt er een (fysische) representatie van situaties opgebouwd ?
 - worden er kenmerken van problemen geabstraheerd en geëxpliciteerd ?
- Tobias (1982) spreekt in dit verband van 'macroprocessen'.

Resultaten van dit onderzoek kunnen de basis vormen voor verder onderzoek waar in nagegaan wordt hoe fouten, leemtes en inadequaatheden in het kennisrepertoire door maatregelen in het onderwijs voorkomen kunnen worden.

REFERENTIES

- ANDERSON, J.R., (1982), Acquisition of Cognitive Skill. *Psychological Review*, 89, 4, 369-406.
- ANDERSON, J.R., GREENO, J.G., KLINE, P.J. & NEVES, D.M., (1981), Acquisition of Problem-solving Skill. In J.R. Anderson (ed.): *Cognitive skills and their Acquisition*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Ass., 191-230.
- CHI, M.T.H., FELTOVICH, P.J. & GLASER, R., (1981), Categorization and Representation of Physics Problems by Experts and Novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.
- CHI, M.T.H., GLASER, R. & REES, E., (1982), Expertise in Problem Solving. In R.J. Sternberg (ed.): *Advances in the Psychology of Human Intelligence, Volume I*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Ass., 7-77.
- COHEN, J., (1960), A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20, 37-46.
- FERGUSON-HESSLER, M.G.M. & DE JONG, T., (in voorbereiding), Markante (dwaal-)wegen bij het oplossen van E&M problemen. Groep Onderwijsresearch, TH Eindhoven.
- FLAHERTY, E.G., (1975), The thinking aloud technique and problem solving ability. *Journal of Educational Research*, 6, 223-225.
- GLASER, R., (1982), Instructional Psychology, Past, Present, Future. *American Psychologist*, 37, 3, 292-305.
- JONG, T. DE & FERGUSON-HESSLER, M.G.M., (1983), Strategiegebruik bij het oplossen van natuurkundige problemen, een onderzoek. Groep Onderwijsresearch, TH Eindhoven, rapport 31.
- JONG, T. DE & FERGUSON-HESSLER, M.G.M., (in druk), Strategiegebruik bij het oplossen van problemen in een semantisch rijk domein: electriciteit en magnetisme. *Tijdschrift voor Onderwijsresearch*.
- LOWE, B., (1982), A method of Teaching Problem-Solving to Undergraduate Engineering Students. *British Journal of Educational Technology*, 13, 2, 137-152.
- MAYER, R.E., (1982), Memory for Algebra Story Problems. *Journal of Educational Psychology*, 74, 2, 199-217.
- METTES, C.T.C.W. & PILOT, A., (1980), *Over het leren oplossen van natuurwetenschappelijke problemen* (diss.). Onderwijskundig Centrum CDO/THT, Enschede.
- REIF, F., LARKIN, J.H. & BRACKETT, G.C., (1976), Teaching general learning and problem-solving skills. *American Journal of Physics*, 44, 3, 212-217.

- RESNICK, L.B., (1976), Task analysis in Instructional Design: Some cases from Mathematics. In David Klahr (ed.): *Cognition and Instruction*, Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Ass., 51-81.
- STEPHENS, R.G., BHASKAR, R & DILLARD, J.F., (1982), The role of task analysis in understanding problem-solving behavior. *Instructional Science*, 10, 23-45.
- TOBIAS, S., (1982), When do instructional methods make a difference. *Educational Researcher*, 11, 4, 4-10.
- VAAGS, D.W., (1975), *Over het oplossen van technische problemen* (diss.). Eindhoven, TH.
- WEEREN, J.H.P., KRAMERS-PALS, H., MUL, F.F.M. de, PETERS, M.J. & ROOS-SINK, H.J., (1979), Project Electriciteit en Magnetisme. Eerste tussentijdse verslag. CDO/AVC, THT, Enschede, rapport 39.
- WOUTERS, L. & JONG T. DE, (1982), Hardop denken tijdens tekstbestudering. *Tijdschrift voor Onderwijsresearch*, 7, 2, 60-76.