

KENNIS EN HET OPLOSSEN VAN VAKINHOUDELIJKE PROBLEMEN

(Een voorbeeld uit een natuurkundig domein)

KNOWLEDGE BASED PROBLEM SOLVING

(an example from a physics domain)

(with a summary in english)

PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DE GRAAD VAN DOCTOR IN DE
TECHNISCHE WETENSCHAPPEN AAN DE TECHNISCHE
HOOGESCHOOL EINDHOVEN, OP GEZAG VAN DE RECTOR
MAGNIFICUS, PROF. DR. F.N. HOOGE, VOOR EEN
COMMISSIE AANGEWEZEN DOOR HET COLLEGE VAN
DEKANEN IN HET OPENBAAR TE VERDEDIGEN OP
DINSDAG 27 MEI 1986 TE 16.00 UUR

DOOR

ANTHONIUS JOHANNES MARIA DE JONG

GEBOREN TE AMSTERDAM

PROMOTOREN: Prof. dr. D.W. Vaags
Prof. dr. G.J. Mellenbergh

CO-PROMOTOR: Dr. C. Hamaker

VOOR ARIEN

Voorwoord

Bij de uitvoering van de experimenten en de totstandkoming van dit proefschrift is nauw samengewerkt met Monica G.M. Ferguson-Hessler fil. lic. Tussentijdse verslagen en artikelen dragen dan ook steeds ons beider namen. Bij verslagen waarin de nadruk ligt op de natuurkundige kant van het onderzoek is Monica Ferguson-Hessler telkens eerste auteur.

Bij de opzet van het in hoofdstuk 2 beschreven onderzoek was dr. Wil Verreck betrokken. Bij dit experiment waren Mathieu Dumont, Karel Jan Reuver en drs. Hans Hijne studentassistenten. Chris Moes fungeerde bij alle experimenten als studentassistent. Secretariële ondersteuning werd gegeven door mevrouw Joop Vervoort-De Bont. De computerverwerkingen werden verzorgd door Ed Nijsen en Rob Kieft. Gerard van de Akker en ir. Kees Venselaar verzorgden de grafische aspecten van het proefschrift. Ans de Mol vertaalde de samenvatting in het engels.

Het proefschrift is zo geschreven dat de experimentele hoofdstukken ook zelfstandig te lezen zijn.

maart 1986

Ton de Jong.

Inhoudsopgave

INLEIDING	1
1 HET OPLOSSEN VAN PROBLEMEN IN EEN THEORETISCH PERSPECTIEF	3
1.1 Ontwikkelingen in het onderzoek naar probleemoplossen	3
1.2 Afbakening van de in deze studie onderzochte problemen	13
1.2.1 Wat is een probleem?	13
1.2.2 Classificatie van problemen	15
1.2.3 Vraagstukken in het eerstejaarsonderwijs	18
1.3 Kennis en het oplossen van vakinhoudelijke problemen	21
1.3.1 Factoren die het oplosproces beïnvloeden	21
1.3.2 Een model voor het oplossen van vakinhoudelijke problemen	23
1.3.3 Vakinhoudelijke kennis	26
1.3.4 De organisatie van vakinhoudelijk kennis	30
1.4 Expertisenivo en probleemoplossen	40
1.4.1 Verschillen tussen experts en beginners	40
1.4.2 Bezwaren tegen het expert-beginner paradigma	45
1.4.3 Verschillen tussen beginners	48
1.5 Onderzoeksvragen	51
2 STRATEGIEGEBRUIK BIJ HET OPLOSSEN VAN PROBLEMEN	53
2.1 Inleiding	53
2.2 Opzet en uitvoering van het onderzoek	55
2.2.1 De SPS- cursus E&M I	55
2.2.2 De toetsen	56
2.2.3 Deelnemers aan het onderzoek	57
2.2.4 De experimentele strategie	58
2.2.5 De instructie probleemaanpak (IPA)	59
2.3 De effectmeting	61
2.3.1 De hardop denkmethode	61
2.3.2 De opname van de toetsen	61
2.3.3 Analyse van de protocollen	62
2.3.4 Soorten analyseschema's	63
2.3.5 De constructie van het analyseschema	64
2.3.6 De gevolgde werkwijze bij de protocolanalyse	67
2.3.7 Vergelijking van het oplosgedrag met de experimentele strategie	67
2.3.8 Betrouwbaarheid van de analyse	70
2.4 Resultaten	73
2.4.1 Verschillen in strategiegebruik tussen de experimentele condities	73

2.5 Conclusies en discussie	78
2.5.1 Geen effect van de instructie probleemaanpak	78
2.5.2 Waarom heeft de IPA geen invloed op het oplosgedrag gehad?	80
2.5.3 De waarde van de experimentele strategie	83
2.5.4 Het relatieve belang van strategiegebruik	86
2.5.5 Adaptief strategiegebruik	86
2.5.6 Oplosstrategie versus instructiestrategie	89
2.6 Slotconclusies	91
Appendix bij hoofdstuk 2	93
3 DE ORGANISATIE VAN VAKINHOUDELIJKE KENNIS	99
3.1 Inleiding	99
3.1.1 Aspecten van de cognitieve structuur	99
3.1.2 Onderzoek naar de structuur van vakinhoudelijk kennis	101
3.1.3 Cognitieve structuur en probleemoplossen	105
3.1.4 Onderzoekshypothese	108
3.2 Onderzoeksopzet en uitvoering	109
3.2.1 De vakinhoud	109
3.2.2 Het tentamen	109
3.2.3 Deelnemers aan het onderzoek	110
3.2.4 De experimentele taak	110
3.3 Resultaten	113
3.3.1 Analyse over de gehele groep deelnemers	113
3.3.2 Analyse per subgroep	115
3.4 Conclusies en discussie	123
3.4.1 De cognitieve structuur van beginners	123
3.4.2 De cognitieve structuur van experts	124
3.5 Slotconclusie	126
Appendix bij hoofdstuk 3	127
4 KENNIS VAN PROBLEEMSITUATIES	131
4.1 Inleiding	131
4.1.1 De initiële representatie	132
4.1.2 Onderzoek naar kennis van probleemsituaties	134
4.1.3 Onderzoeksvragen	138
4.2 Opzet en uitvoering van het onderzoek	141
4.2.1 De vakinhoud	141
4.2.2 Deelnemers aan het onderzoek	142
4.2.3 De experimentele taken	142
4.2.4 Beoordeling van de reconstructies	146
4.3 Resultaten	150
4.3.1 De aanwezigheid van probleemsituatieschemata	150
4.3.2 Koppeling van oplosinformatie aan situatieschemata	155
4.3.3 Vorm waarin schemata zijn opgeslagen	156

4.4 Conclusies en discussie	160
4.4.1 Overeenkomsten tussen zwakke en goede studenten	160
4.4.2 Verschillen tussen zwakke en goede studenten	161
4.5 Slotconclusie	165
Appendix bij hoofdstuk 4	167
5 ALGEMENE DISCUSSIE	177
5.1 Samenvatting van de theorie en onderzoeksresultaten	177
5.2 Integratie van de onderzoeksresultaten	181
5.3 Draagwijdte van de resultaten	184
5.4 Praktische implicaties	185
Summary	187
Literatuur	191
Namenregister	201
Curriculum Vitae	205

Inleiding

Probleem oplossen lijkt een overheersende term te worden in cognitief psychologisch onderzoek. Aan de ene kant is er een expansie van onderzoek dat zich bezighoudt met wat ook traditioneel 'het oplossen van problemen' genoemd kan worden. Deze expansie gaat samen met een toenemende nadruk op het oplossen van vakinhoudelijke problemen ofwel problemen in semantisch rijke domeinen. Aan de andere kant wordt de term probleem oplossen steeds meer gebezigd bij een uitgebreid scala van activiteiten zoals bv. het lezen van teksten.

Deze 'inflatie' van de term probleem oplossen (de engelse term 'problem solving' heeft oorspronkelijk al een ruimere betekenis dan het nederlandse equivalent, maar ook deze wordt steeds meer opgerekt) en de verschuiving naar meer vakinhoudelijke problemen staan niet los van elkaar. De term probleem oplossen begint langzamerhand een synoniem te worden voor 'op kennis gebaseerd handelen'. Een probleem wordt zo elke taak die een persoon slechts uit kan voeren wanneer de inhoud en de structuur van zijn kennis aan bepaalde voorwaarden voldoet. Hiermee is ook meteen de kern van het in deze studie gekozen theoretisch uitgangspunt, de cognitieve psychologie, weergegeven: de mens interpreteert en manipuleert zijn omgeving vanuit zijn kennis.

Dit proefschrift gaat over het oplossen van problemen en wel het oplossen van natuurkundige opgaven door beginnende studenten. Centraal in deze studie staat de vraag welke kenmerken van vakinhoudelijke kennis samengaan met succes bij het oplossen van deze problemen. Inzicht in de vakinhoudelijke kennis die nodig is voor het oplossen van een bepaalde klasse van problemen kan verkregen worden via een rationele taakanalyse (Resnick, 1976; Simons, 1980); in dit proefschrift wordt echter de empirische weg bewandeld. Er worden vergelijkingen gemaakt tussen foute en goede oplossingen en verschillen in kennis tussen zwakke en goede beginners worden geanalyseerd.

De beantwoording van bovenstaande centrale onderzoeksvraag heeft naast theoretische ook praktische implicaties. De resultaten van de in dit boek gerapporteerde onderzoeken (die de centrale vraag overigens maar zeer ten dele kunnen beantwoorden), worden als een basis gezien voor het ontwerpen en de evaluatie van instructiemaatregelen die een adequaat kennisrepertoire bij studenten kunnen bevorderen en zo de mate van succes bij het oplossen van problemen kunnen verhogen.

Greeno (1980) vat het voorafgaande zeer kernachtig samen: "The advice is simply this: To teach students how to solve that class of problems, first analyze the knowledge that they need in order to solve that class of problems, and then carry out instruction that will result in their acquisition of the required knowledge" (p. 13).

Het algemene onderwerp 'probleem oplossen' kent in deze studie dus drie inperkingen:

1. Het gaat over het oplossen van een bepaald soort problemen, vakinhoudelijke, natuurkundige, opgaven.
2. Er wordt gekeken naar de invloed hierop van slechts één factor, vakinhoudelijke kennis.
3. Het onderzoek betreft één vrij specifieke groep personen, beginnende studenten aan een Technische Hogeschool.

Het proefschrift is als volgt ingedeeld. In hoofdstuk 1 wordt eerst een historisch overzicht van de ontwikkeling in theorievorming en onderzoek rond het thema probleemoplossen gegeven. De plaats van het onderzoek uit dit proefschrift wordt daarbij aangegeven. Hierna worden de drie genoemde inperkingen van het onderzoek nader uitgewerkt en in een theoretisch perspectief geplaatst. De hoofdstukken 2, 3, en 4 bevatten elk het verslag van een empirisch onderzoek waarbij telkens een ander aspect van de kennis van beginnende studenten aan bod komt. In hoofdstuk 5 tenslotte wordt een korte samenvatting en integratie van de resultaten van de onderzoeken gegeven en worden mogelijke implicaties voor de praktijk behandeld.

1 Het oplossen van problemen in een theoretisch perspectief

1.1 Ontwikkelingen in het onderzoek naar probleemoplossen

Het begrip 'probleem' is een in het dagelijkse spraakgebruik regelmatig voorkomend begrip. Er bestaan problemen op vele, zeer uiteenlopende gebieden. Wanneer het begrip probleem gebruikt wordt in de combinatie probleemoplossen wordt echter al snel een beperking tot intellectuele problemen gemaakt. Onder deze noemer probleemoplossen is de afgelopen decennia een toenemende hoeveelheid onderzoek verricht.

In dat onderzoek zijn twee hoofdontwikkelingen te bespeuren. *De eerste ontwikkeling* betreft de aspecten van probleemoplossen die onderwerp van onderzoek zijn. Aanvankelijk bestond er een nadruk op het product van de oplossing en de omstandigheden waaronder dat tot stand kwam. Na deze belangstelling voor het product van de oplossing is het proces van oplossen centraal komen te staan. Meer recent begint het onderzoek zich te richten op de inhoud, organisatie en vorm van de kennis van de oplosser. *De tweede ontwikkeling* in het onderzoek, die hand in hand gaat met de eerste, betreft de aard van de problemen die onderzocht worden. Jarenlang bestonden de onderzochte problemen uit puzzle-achtige problemen. Bij deze problemen werd er nauwelijks een beroep gedaan op specifieke kennis van de oplosser, maar eerder op algemene redeneervaardigheden. De laatste 15 jaar is er echter een expansie ontstaan in onderzoek naar meer vakinhoudelijke problemen. Deze tendens zet zich versterkt door in onderzoek van steeds complexere en meer 'real-life' problemen. Beide ontwikkelingen gaan uiteraard gepaard met een verandering in onderzoeksmethoden.

Parallel aan deze ontwikkelingen zijn vier theoretische stromingen te onderscheiden (zie Davis, 1966; Radford & Burton 1974; Vaags, 1975; Rowe, 1985). Dit zijn de *behaviouristische* benadering, de *Gestalttheorie*, de *psychometrische* benadering en de *cognitieve of informatieverwerkingstheorie*. Bovendien wordt het oplossen van problemen vooral recentelijk vrij intensief bestudeerd vanuit de *onderwijsresearch*. Theoretisch gezien is deze laatste benadering divers en soms eclectisch, wat niet verbazingwekkend is gezien het pragmatische karakter ervan.

Bovenstaande benaderingen zullen nu kort behandeld worden waarna de plaats van dit proefschrift binnen de ontwikkelingen in onderzoek en theorievorming zal worden toegelicht.

Behaviourisme

Binnen de behaviouristische traditie werd probleemoplossen niet of nauwelijks als een van andere gedragsactiviteiten (zoals leren en conceptformatie) te onderscheiden activiteit gezien. Duncan (1959, p.425) omschrijft dit als volgt: "Problem solving in human adults is a name for a diverse class of performances which differs, if it differs at all, only in degree from other classes of learning and performance, the degree of difference depending on the extent to which problem solving demands relocation or integration of previously learned responses". Davis (1966, p.36) merkt zelfs enigszins badinerend op: "...virtually any semicomplex learning task which does not clearly fall into a familiar area of learning can safely be called 'problem-solving' ". Evenals elk ander gedrag werd probleemoplossen binnen de behaviouristische traditie gezien als een 'trial-and-error' proces waarin goede responsen worden bekrachtigd en foutieve onderdrukt. Probleemoplossen werd dan geacht plaats te vinden wanneer de respons van de ene gedragsketen gekoppeld wordt aan de stimulus van een andere gedragsketen, zodat voorheen niet verbonden stimuli en responsen geassocieerd worden.

De *onderzoeksmethoden* die in deze traditie gebruikt werden waren uiteraard gebaseerd op het variëren van externe factoren (zoals de hoeveelheid oefening, de mate van concreetheid van de situatie) en het observeren van responsen. Of zoals Duncan (1959, p. 425) opmerkt: "...the basic need in problem solving is experimental determination of the functional relationships between dimensionalized independent variables and problem solving performance."

De *problemen* die onderwerp van studie waren bestonden merendeels uit artificiële, eenvoudig in een laboratoriumsituatie te brengen problemen. Als bijkomend voordeel van dit soort problemen werd tevens beschouwd dat ze replicatieonderzoek eenvoudiger uitvoerbaar maakten. Voorbeelden van dit soort problemen zijn waterkanproblemen (McNemar, 1955) en anagrammen (Ronning, 1965).

De theorievorming binnen het behaviourisme is onderwerp geweest van stevige kritiek. Die kritiek splitst zich toe op de vaak onoverkomelijke moeilijkheden die ontstaan wanneer het oplossen van problemen verklaard moet worden vanuit de vorming van ketens van stimulus-respons associaties. Dit geldt vooral wanneer het complexe problemen betreft. Green (1966) verwoordt deze kritiek als volgt: "The resulting argument is so totally unconvincing and unreasonable that it implicitly demonstrates the need for something else." Volgens Green kan dit 'iets anders' gevonden worden in stromingen waarin ook, in tegenstelling tot in het behaviourisme, aandacht is voor niet direct observeerbaar gedrag.

Gestalttheorie

Een met het behaviourisme concurrerende stroming was de Gestalt benadering. Een uitgebreid overzicht van deze stroming wordt gegeven door Van de Geer (1957). In tegenstelling tot bij het behaviourisme werd in de Gestalt theorie niet louter de nadruk gelegd op observeerbare gedragingen, maar werd plaats ingeruimd voor mentale handelingen. Gesteld werd dat probleemoplossen geen gradueel proces is van trial and error maar dat de oplossing van een probleem 'plotseling' kan ontstaan. Köhler's (1925) concept 'insight' illustreert dit. Dit concept werd opgesteld naar aanleiding van het gedrag van de aap 'Sultan' die twee stokken aan elkaar bevestigde en zo een (fel begeerde) banaan naar zich toe kon trekken. Insight is dan het fenomeen dat in een gegeven situatie een nieuwe configuratie wordt ontdekt. Dit principe werd in de Gestalttheorie verder uitgewerkt. Een probleem wordt daarbij opgevat als een situatie waarin een onvolkomenheid gepercipieerd wordt. Probleemoplossen werd zo het perceptueel reorganiseren van een gegeven situatie tot een situatie met een betere structurering.

De vraag waarom probleemoplossen dan vaak zo moeilijk is werd verklaard vanuit een ander concept dat veel in de Gestalt literatuur gebruikt werd nl. 'Einstellung' (Luchins, 1942), ook wel 'functional fixedness' of 'set' genoemd (overigens zijn er dan nuanceverschillen in betekenis, zie van de Geer, 1957). Dit concept staat voor het fenomeen dat een oplosser met een bepaalde instelling zit opgescheept die hij moet doorbreken om de oplossing van het probleem te zien. Een voorbeeld hiervan is te vinden bij het 'nine dot' probleem van Scheerer (1963). Bij dit probleem moeten de proefpersonen negen punten die verdeeld zijn over de hoekpunten van een vierkant, het midden van de zijden van het vierkant en het middelpunt met vier rechte lijnen verbinden zonder hun pen van het papier te halen. Dat vormt voor de proefpersonen een probleem omdat zij (zonder noodzaak) niet buiten het vierkant willen gaan. Een ander klassiek voorbeeld van functional fixedness komt voor in het welbekende 'pendulum' experiment van Maier (1931). Proefpersonen moesten daarin twee aan een plafond hangende touwen verbinden en konden dat pas wanneer zij een in dezelfde ruimte aanwezige tang aan een van de touwen bevestigd hadden zodat ze van dat touw een slinger konden maken. Proefpersonen bleken er grote moeite mee te hebben de functie 'gewicht' toe te kennen aan de tang.

Het fenomeen Einstellung bracht Asher (1963) er zelfs toe om probleemoplossen te zien als de inverse van leren: "If learning is a process of forming a concept within a cognitive system and problem solving is a process of disrupting established concepts, then, in this sense, problem solving is the inverse of learning" (p. 4). Deze zienswijze staat dus lijnrecht tegenover de behaviouristische opvatting over probleemoplossen.

In het algemeen is echter ook de Gestalttheorie geïnteresseerd geweest in pro-

bleemoplossen als fenomeen en de invloed van externe factoren hierop. Voorbeelden van dat soort externe factoren zijn hints (Maier, 1931) en stress (Cowen, 1952). Belangrijk is echter vooral dat er in de Gestalttheorie een aanzet geweest is tot het bestuderen van het oplosproces. Scheerer (1963) beschrijft hoe zijn proefpersonen een 'river cross' probleem oplosten. Wertheimer (1945) observeerde nauwgezet hoe kinderen te werk gingen bij het vinden van de oppervlakte van een parallelogram en daarbij was hij vooral geïnteresseerd in kwalitatieve responsen. Ook Duncker (1945) hield zich, in zijn bekende onderzoek naar het vinden van een oplossing om tumoren te bestralen zonder omliggend weefsel te beschadigen, bezig met de manier waarop zijn proefpersonen tot een oplossing trachtten te komen.

De *onderzoeksmethoden* die gebruikt werden in het Gestalttheoretische onderzoek weken voor een deel niet af van de behaviouristische methoden. Er werden externe factoren gevarieerd en het effect op de oplossing werd bekeken. Dat deel van het Gestalttheoretische onderzoek waarin het proces van oplossen werd onderzocht maakte echter gebruik van 'introspectieve' methoden waaronder hardop denken (Duncker, 1945; Scheerer, 1963).

Zoals uit bovenstaande al bleek werden binnen de Gestaltpsychologie voor een groot deel dezelfde *problemen* onderzocht als in de behaviouristische school. Het betrof dan bijv. waterkanproblemen (Cowen, 1952) en anagrammen (Johnson, 1956). Een uitgebreid overzicht van dit soort puzzle-achtige problemen is te vinden in Scheerer (1963). In de Gestalt traditie is echter al een tendens te ontdekken naar meer reële problemen, zoals in de eerder genoemde onderzoeken van Duncker (1945) en Wertheimer (1945). Het betreft dan echter nog steeds problemen waarbij meer een beroep wordt gedaan op algemene redeneervaardigheden dan op specifieke vak-kennis van de oplosser.

Belangrijke ontwikkelingen in de Gestalt school waren dus dat er enige aandacht kwam voor het proces van oplossen en dat daarbij gebruik werd gemaakt van introspectieve methoden waarmee kwalitatieve data verkregen kunnen worden. Daarnaast kon gesignaleerd worden dat ook het oplossen van niet al te artificiële problemen onderzocht werd (al was dat op bescheiden schaal). Een voortzetting van deze lijn is te vinden in het welbekende onderzoek naar de wijze waarop schakers tot hun zetten komen en perceptie van schaakstellingen van De Groot (1946). Schaakproblemen zijn problemen waarbij niet alleen algemene redeneervaardigheden van belang zijn maar waarbij ook een beroep wordt gedaan op specifieke kennis van de oplosser. Alhoewel De Groot's werk voornamelijk gestoeld is op de duitse Denkpsychologie, zijn er ook invloeden van de (verwante) Gestaltschool, zoals blijkt uit zijn onderzoek naar de waarneming van stelling uit het schaakspel. De Groot (1946; 1966) was echter een van de eersten die expliciete aandacht voor het oplosproces koppelde

aan het methodologisch verantwoord gebruiken van de hardopdenk methode. De Groot's werk kan daarom als een trait d'union tussen de Gestalttheorie en de later te behandelen informatieverwerkingstheorie beschouwd worden.

Psychometrische benadering

De psychometrische benadering neemt ten opzichte van de andere hier geschetste benaderingen een enigszins geïsoleerde positie in. Dit vindt waarschijnlijk zijn oorzaak in het feit dat deze benadering niet zozeer op een theoretisch uitgangspunt is gebaseerd maar meer rond een methodologie is opgebouwd. Deze methodologie houdt in dat door middel van correlatieve technieken als factoranalyse, factoren die met (succesvol) probleemoplossen samenhangen in kaart worden gebracht. Een van de belangrijkste vertegenwoordigers van deze stroming is Gullford (1967).

Recent begint de psychometrische benadering na enige jaren van relatieve stilte weer op te leven. Pellegrino & Glaser (1979) introduceerden daarbij het onderscheid tussen de 'cognitive components' en de 'cognitive correlates' benadering (zie ook Rowe, 1985). In de cognitive components benadering wordt getracht complexe taken op te delen in meer fundamentele, kleinere, processen. Het werk van Sternberg (1982) neemt hierin een belangrijke plaats in. In de cognitive correlates benadering staat in plaats van de taak het individu centraal. Prestaties van personen op laboratoriumtaken die fundamentele cognitieve vaardigheden beogen te meten worden in verband gebracht met prestaties op probleemoplostaken.

De belangrijkste inbreng van de psychometrische benadering in het onderzoek van probleemoplossen is de aandacht voor individuele verschillen. Aan deze individuele verschillen werd in de Gestalttheorie nog volledig voorbij gegaan. Het onderzoek binnen de psychometrische traditie vindt hoofdzakelijk plaats bij artificiële, eenvoudig in een laboratorium experiment onder te brengen problemen. Recent vindt hier een verschuiving plaats naar meer realistische problemen zoals problemen in de sociale wetenschappen (Voss, Tyler & Yengo, 1983). Bij dit laatste onderzoek vindt er een integratie plaats met de volgende te behandelen stroming, de informatieverwerkingstheorie.

Informatieverwerkingstheorie

In de jaren 60 is een sterke opkomst te zien van een theoretische stroming waarin de mens als informatieverwerkend systeem wordt opgevat. Centraal in deze stroming staat de menselijke verwerking, opslag en het terughalen van informatie. Er is dan ook ruime aandacht voor processen zoals die zich intern bij personen afspelen. In tegenstelling tot bij de Gestalttheorie wordt in deze laatste stroming gezocht naar gedetailleerde theorieën die het menselijk gedrag kunnen verklaren. Als analogen

voor het menselijke informatieverwerken werd de computer gebruikt. Deze theoretische stroming, meer algemeen de cognitieve psychologie genoemd, is nu de invloedrijkste stroming in de psychologie.

In de cognitieve psychologie worden drie soorten geheugen onderscheiden (zie bijvoorbeeld Raaymakers, 1984): een *sensorisch register*, waar binnenkomende informatie wordt ontvangen en al dan niet doorgegeven naar het *korte termijn geheugen* (short term memory of STM). Dit korte termijn of werkgeheugen is het actieve deel van het geheugen dat "maintains an internal representation of what is going on", (Frederiksen, 1984, p. 365). Het werkgeheugen staat in verbinding met het *lange termijn geheugen* (long term memory of LTM) waar informatie uitgethaald wordt of in kan worden opgeslagen. Een op probleemoplossen toegesneden versie van dit model zal gepresenteerd worden in par. 1.3.2.

De meeste aandacht bij probleemoplossen binnen de informatieverwerkingstheorie is tot nu toe besteed aan de processen die plaats vinden in het werkgeheugen (daarnaast vindt er ook onderzoek plaats naar zoekprocessen in het lange termijn geheugen). Deze processen zijn zeer nauwkeurig geanalyseerd en in een aantal gevallen met behulp van een computerprogramma gesimuleerd. Aanvankelijk gebeurde dit alleen bij puzzle-achtige problemen (zoals het vervangen van letters door cijfers in DONALD+GERALD=ROBERT, Newell & Simon, 1972) maar later ook bij problemen die meer kennis van de oplosser vereisten, zoals vraagstukken uit de fysica (Larkin, 1981a). Een kritische bespreking van computersimulaties is te vinden in Elshout & Wielinga (1981).

Een meer recente ontwikkeling in het onderzoek naar probleemoplossen is dat men er achter probeert te komen hoe kennis (en dan niet alleen kennis van oplosprocessen) in het lange termijn geheugen van een probleemoplosser is georganiseerd. Deze ontwikkeling houdt uiteraard verband met een toenemende aandacht voor het oplossen van problemen waarvoor een hoeveelheid (vak-)kennis bij de oplosser vereist is. Bij dit onderzoek wordt dankbaar gebruik gemaakt van modellen van de organisatie van kennis in het LTM die de afgelopen jaren (onafhankelijk van het onderzoek naar probleemoplossen) zijn ontwikkeld (zie Raaymakers, 1984). De meest gangbare opvatting daarbij is dat het LTM is opgebouwd als een netwerk van concepten met relaties tussen deze concepten. In een aantal onderzoeken wordt de organisatie van kennis met probleemoplossen in verband gebracht (Larkin, 1976; Chi, Feltovich & Glaser, 1981). Niet alleen de organisatie van de kennis wordt bestudeerd. Anderson (1982) ontwikkelde een theorie waarin de vorm van de kennis centraal staat. Volgens hem vindt er bij toenemende expertise een ontwikkeling van de kennis plaats vanuit een declaratief naar een procedureel stadium. In het declaratieve stadium bezit de oplosser theoretische kennis en algemene procedures, in het procedurele stadium kan hij problemen oplossen met behulp van specifieke proce-

dures (zie ook Anderson, Greeno, Kline & Neves, 1981).

Bij de *onderzoeksmethoden* die binnen deze stroming gebruikt worden valt een sterke revival op van de (dan wel methodologisch aangepaste) hardop denk methode (zie Ericsson & Simon, 1980; 1985). Vaak bijzonder lange protocollen worden minitieuus geanalyseerd (Newell & Simon, 1972, Vaags, 1975). Een tweede, maar minder informatieve en daardoor minder gebruikte, methode waarmee licht geworpen kan worden op het oplosproces is de registratie van oogbewegingen (Simon & Barenfeld, 1969). Om zicht te krijgen op kennisorganisatie is een diversiteit aan methoden gebruikt, zoals het aanbieden van een (natuurkundige) probleemstelling en het daarbij laten genereren van formules (Larkin, 1976) en het sorteren van problemen (Chi et al., 1981).

De *aard van de problemen* die onderzocht werden heeft in betrekkelijk korte tijd een aanzienlijke verschuiving ondergaan. Aanvankelijk werden nog puzzleachtige problemen zoals (ook nu weer) het waterkanprobleem (Atwood & Polson, 1976) en het 'Tower of Hanoi' probleem (Anzai & Simon, 1979) onderzocht (een overzicht van onderzoek bij dit laatste probleem wordt gegeven door Kotovsky, Hayes & Simon, 1985). Al snel werden ook die problemen onderzocht waarbij een beroep gedaan werd op vakspecifieke kennis van de oplosser. Bhaskar & Simon (1977) spreken in dit verband van probleemoplossen in *semantisch rijke domeinen*. Eerst werd er daarbij nog een tussenvorm van problemen onderzocht, puzzle-achtige problemen waarbij om op nivo te spelen veel kennis nodig is zoals schaken (Chase & Simon 1973) en go (Reitman, 1976). Daarna werd er een grote hoeveelheid onderzoek gestart waarin echt vakinhoudelijke problemen aan de orde kwamen. Deze problemen liggen op allerlei terreinen, maar er is toch een duidelijke nadruk te constateren op problemen uit de exactere vakken. Enkele voorbeelden van onderzochte vakinhouden zijn: wiskunde (Hayes, 1973, Greeno, 1976, Crombag, 1978), boekhouden (Bhaskar, Dillard & Stephens, 1983), natuurkunde (Reif, Larkin & Brackett, 1976; Larkin, 1979, 1981a, 1981b), en scheikunde (Vos & Zuur, 1983; Gabel, Sherwood & Enochs, 1984). De laatste ontwikkeling is dat ook nog meer complexe problemen onderzocht gaan worden. Onderzoek naar juridische casusposities van Crombag (1970) was hier een voorloper van. Andere voorbeelden zijn ontwerpproblemen (Venselaar, 1985; Hamel, 1985) en medische problemen (Wortman, 1972; Berner, Bligh & Guerin, 1977; Elstein, Shulman & Sprafka, 1978). Soms gaat de specialisatie van het onderzoek naar vakspecifieke problemen zeer ver. Crombag (1978) pleit zelfs voor het ontwikkelen van 'vakspecifieke theorieën van informatieverwerking' (zie ook Neber, 1983).

De opkomst van de cognitieve psychologie heeft gezorgd voor een grote uitbreiding van het onderzoek naar probleemoplossen. Belangrijke ontwikkelingen daarin zijn de verschuiving van puzzle-achtige problemen naar vakinhoudelijke problemen en een

zeer vergrote aandacht voor het oplosproces die sinds kort overgaat in onderzoek naar de achterliggende kennis(organisatie) van de oplosser.

Onderwijsresearch

Een gebied van onderzoek naar probleemoplossen dat niet door één theoretische conceptie of methode wordt beheerst is de onderwijsresearch. De hoofdvraag binnen deze benadering is hoe prestaties (bijvoorbeeld in probleemoplossen) van leerlingen/studenten verbeterd kunnen worden. De nadruk ligt dan ook op het ontwikkelen en testen van prescriptieve theorieën. Alhoewel er op dit gebied altijd activiteiten geweest zijn (Polya, 1987) is er laatste jaren ook in deze hoek een opleving te constateren. Frederiksen (1984) geeft een overzicht van onderwijsprogramma's die tot doel hebben succes bij probleemoplossen te bevorderen. Een veel gebruikt onderwijsprogramma is dat van Rubinstein (1980). Het programma van Rubinstein is nog zeer algemeen van aard, studenten krijgen zeer algemene aanwijzingen over hoe te handelen in een diversiteit van probleemsituaties. Evenals in het meer fundamentele onderzoek is ook hier echter een toenemende specificatie naar vakinhouden merkbaar. Een uitstekend voorbeeld hiervan is de studie van Mettes & Pilot (1980, zie ook Mettes, Pilot & Roossink, 1981). Zij ontwierpen een cursus voor het vak thermodynamica, waarin studenten een systeem van heuristieken voor het oplossen van dit soort problemen geleerd werd en waarin ook de leerstof gestructureerd werd aangeboden. De wijze van instructie die gehanteerd werd was gebaseerd op de russische psychologie aangevuld met het principe van mastery learning. Een onderzoek op het gebied van de natuurkunde is een studie van Van den Berg (1983). Op het gebied van bestuurskundige vraagstukken is er het werk van Terlouw & Mettes (1982) en bij tandheelkunde kan het werk van Ten Bosch (1982), Verdonchot (1984) en Straetmans (1985) genoemd worden.

Plaats van deze studie

De ontwikkelingen op het gebied van probleemoplossen hebben geleid tot een uitbreiding van onderzoek naar het *proces* van oplossen en naar de *achterliggende kennis* van de oplosser. Dit onderzoek vindt in toenemende mate plaats bij *niet-artificiële* problemen.

Deze ontwikkelingen zetten zich voort in het onderzoek waarover in dit proefschrift verslag wordt gedaan. Onderwerp hiervan is het oplossen van natuurkundige problemen door beginnende universiteitsstudenten. Meer specifiek betreft het problemen uit het vakgebied Electriciteit en Magnetisme. Het onderzoek heeft betrekking op voor deze groep personen reële problemen, namelijk problemen zoals ze die op reguliere tentamens tegenkomen. De belangrijkste vraag die in dit onderzoek

gesteld wordt is die naar de inrichting van de vakinhoudelijke kennis van deze groep studenten.

Voor de beantwoording van deze vraag zijn theorievorming en resultaten van onderzoek binnen de informatieverwerkings benadering het meest uitgewerkt. Deze benadering en de resultaten van onderzoek hierbinnen zullen daarom in dit proefschrift gebruikt worden om aspecten van kennis af te leiden die het waard zijn verder onderzocht te worden.

Naast deze band met de cognitieve psychologie wordt aangesloten op de psychometrische benadering door individuele verschillen centraal te stellen en te zoeken naar verschillen in kennis tussen zwakke en goede beginnende studenten. In het onderzoek volgens de informatieverwerkingstheorie wordt wel veelvuldig een vergelijking gemaakt tussen beginners en experts maar is onderzoek naar verschillen tussen personen binnen één competentienivo uitermate schaars.

In de inleiding werd gesteld dat het het mes van dit proefschrift aan twee kanten snijdt in die zin dat er naast theoretische ook praktische implicaties te verwachten zijn. Wat die praktische implicaties betreft sluit dit proefschrift goed aan bij de richting die Glaser (1982) wenselijk acht voor wat hij noemt de 'instructional psychology'. Geheel in de lijn van de hier geschetste ontwikkeling in het onderzoek naar het oplossen van problemen en de ontwikkelingen binnen de onderwijsresearch stelt hij dat er prescriptieve modellen opgesteld moeten worden die sterk aan specifieke kennisdomeinen gekoppeld zijn. Een belangrijke voorwaarde om effectief dit soort modellen op te stellen is dat er inzicht verkregen wordt in hoe een adequaat kennisrepertoire voor een bepaald vakgebied er uit ziet. Met andere woorden: voordat overgegaan wordt tot het stimuleren van een bepaalde kennisopbouw zal eerst duidelijk moeten zijn wat een juiste, adequate kennisopbouw is. De na te streven kennisopbouw kan uiteraard via een rationele taakanalyse samengesteld worden. Op grond van een rationele analyse worden dan noodzakelijke en wenselijk geachte elementen in het oplosproces opgesteld (Dillard, Bhaskar & Stephens, 1982). Resnick (1976) die ook van een rationele taakanalyse gebruik maakte onderzocht vervolgens of een hierop gebaseerde instructiemethode succesvol was en dan met name of de onderwezen processen door de oplosers in meer efficiënte processen werden getransformeerd. In dit proefschrift zal echter via een empirische weg getracht worden zicht te krijgen op de inhoud en organisatie van een adequaat kennisrepertoire voor een specifiek kennisdomein.

De rest van dit hoofdstuk is gewijd aan een verdere bespreking van de meest markante kenmerken van het onderzoek uit dit proefschrift. Eerst wordt stil gestaan bij het soort problemen dat onderwerp van studie is. Vervolgens wordt ingegaan op de

rol van (vakspecifieke) kennis bij het oplossen van dit soort problemen en daarna wordt onderzoek naar verschillen tussen personen bij het oplossen van problemen behandeld. Tot slot worden de meer specifieke onderzoeksvragen opgesomd en kort toegelicht.

1.2 Afbakening van de in deze studie onderzochte problemen

1.2.1 Wat is een probleem?

In de voorafgaande paragraaf werd slechts terloops ingegaan op de vraag wat nu eigenlijk een probleem is. Duncan (1959) en Davis (1966) maakten geen onderscheid tussen probleemoplossen en andere cognitieve activiteiten. Een conclusie als die van Duncan en Davis kan uiteraard verwacht worden van behavouristisch georiënteerde auteurs, echter ook vanuit de meer recente informatieverwerkings theorie, kan tot een soortgelijke conclusie gekomen worden. Zo stelt Kaufman (1980, p. 12): "What is suggested here is that it may be fruitful to regard problem solving as a general paradigm for the study of cognitive processes...". De redenering van Kaufman (1980) is echter, ondanks de gelijksoortige conclusie, vrijwel tegengesteld aan die van Duncan (1959). Het argument van Kaufman is niet dat probleemoplossen evenals andere cognitieve activiteiten terug te voeren is op dezelfde elementaire processen, maar dat alle cognitieve activiteiten in principe een soort probleemoplossen zijn.

Om zinnig over problemen en probleemoplossen te praten is een nauwere omschrijving van het begrip probleem dan in genoemde extreme standpunten noodzakelijk. In de vele definities die van het begrip gegeven worden zijn vrijwel altijd, meer of minder expliciet, drie elementen te herkennen. Er is in deze definities sprake van een probleem wanneer:

1. Een persoon wordt geconfronteerd met een bepaalde (uitgangs-)situatie en
2. hij toe wil naar een gewenste situatie die niet gelijk is aan de uitgangssituatie en
3. hij niet onmiddellijk weet hoe deze te bereiken.

Een voorbeeld van zo'n definitie vinden we bij Mettes & Pilot (1980): "Een probleem kan worden gedefinieerd als een situatie waarin iemand een doel heeft maar dit niet direct kan bereiken. Anders gezegd: men wil van een gegeven toestand naar een gewenste maar men weet niet direct hoe." (p.20).

Het derde element uit de definities, niet onmiddellijk weten wat te doen, wordt meestal toegevoegd om aan te geven dat routinematige activiteiten niet tot probleemoplossen gerekend worden. Sommige auteurs zijn daar zeer uitgesproken in. Zo stellen Frijda & Elshout (1976) dat er pas een probleem bestaat wanneer een persoon een antwoord (de gewenste situatie) niet onmiddellijk kan geven maar ook niet door middel van een geautomatiseerde reeks handelingen kan vinden.

Enige verwarring kan ontstaan omdat soms wel gesproken wordt over *problemen* die algoritmisch, routinematig opgelost kunnen worden maar dat het proces waarmee dit soort problemen opgelost worden geen probleemoplossen wordt ge-

noemd. Newell & Simon (1972, p. 822) spreken wel over *problemen* die algoritmisch, routinematig opgelost kunnen worden (programmed activities), maar willen deze activiteit afscheiden van probleemoplossen (unprogrammed activities). Volgens Mettes & Pilot (1980) is er pas sprake van een probleem als de oplosser niet onmiddellijk weet hoe te handelen, maar ook zij noemen algoritmisch op te lossen vraagstukken problemen (p.25).

Greeno (1980) neemt duidelijk stelling. Volgens hem worden prestaties die routinematig zijn en prestaties waarbij 'probleemoplossen' een rol speelt ten onrechte als twee kwalitatief verschillende prestaties gezien. Hij stelt dat al deze activiteiten op kennis gebaseerde activiteiten zijn en dat er slechts sprake is van een kwantitatief verschil, namelijk in de mate waarin er gebruik gemaakt wordt van specifieke kennis. Daarbij geldt volgens Greeno (1980) een continuum en geen dichotomie.

In dit proefschrift wordt een brede definitie van problemen gehanteerd en worden ook problemen die routinematig opgelost kunnen worden tot de problemen gerekend. Problemen worden gedefinieerd als:

die situaties waarin vragen bestaan die door de oplosser pas beantwoord kunnen worden wanneer hij bewerkingen van of manipulaties met beschikbare informatie uitvoert. Onder beschikbare informatie moet dan worden verstaan externe (in de probleembeschrijving verschaft) informatie en/of interne (door de oplosser uit zijn geheugen geselecteerde) informatie.

Volgens deze definitie is de vraag $5+5=?$ dus geen probleem wanneer de oplosser direct uit zijn geheugen 10 antwoordt, maar wel als om dit antwoord te krijgen geteld moet worden, ook wanneer deze handeling de oplosser volledig bekend is. Situaties waarvoor de oplosser een pasklaar antwoord in zijn geheugen heeft, maar waarbij het veel moeite kost dit pasklare antwoord te vinden worden niet tot de problemen gerekend.

Bovenstaande definitie heeft ten opzichte van de bestaande definities het voordeel dat er meer aangegeven wordt wat een probleem wel is en niet voornamelijk wat een probleem niet is (de oplosser weet geen onmiddellijk antwoord). In de definitie ligt de nadruk op het optreden van (cognitieve) manipulaties bij probleemoplossen (zie ook Crombag, 1970). Oplossers moeten deze activiteiten uitvoeren om tot een oplossing te komen.

Deze brede definitie van probleemoplossen sluit echter geenszins uit dat er kwalitatieve verschillen tussen problemen bestaan.

1.2.2 Classificatie van problemen

Greeno (1980) maakte geen onderscheid tussen routinematige en 'echte' problemen om aan te geven dat in beide gevallen sprake is van op kennis gebaseerd handelen. Dat standpunt wordt door anderen onderschreven (Reif, 1980, Willems, 1981). Greeno concludeert dan dat er geen kwalitatief verschil tussen beide soorten problemen gemaakt kan worden. Hij baseert zich daarbij op de constatering dat bij beide soorten er sprake is van dezelfde cognitieve processen. Hij noemt dan: "understanding, planning and organizing activity by setting subgoals" (p. 13). Greeno (1980) beschouwt cognitieve processen echter op een te algemeen nivo; op een meer gedetailleerd nivo kunnen wel degelijk kwalitatieve verschillen tussen problemen gevonden worden. Zo stelt Reif (1980) in een commentaar op Greeno's paper dat er bijvoorbeeld bij complexe problemen die veel kennis vereisen, veel meer nadruk ligt op de selectieve 'retrieval of information' dan bij simpele problemen en dat er dus echt sprake kan zijn van een kwalitatief verschil tussen problemen.

Dat er op een meer gedetailleerd nivo kwalitatieve verschillen tussen problemen bestaan blijkt uit de vele indelingen in probleemsoorten die, zij het vaak onuitgesproken, berusten op verschillen in specifieke cognitieve processen die mogelijk op kunnen treden tijdens het oplossen. Om enkele voorbeelden te noemen: Van Weeren, Kramers-Pals, de Mul, Peters & Roossink (1979) onderscheiden bewijsproblemen, identificatieproblemen, specificatieproblemen en constructieproblemen. Ook Greeno (1978b, 1980) maakt een onderscheid. Hij noemt: arrangeerproblemen, transformatieproblemen en inductieproblemen. Crombag (1978) onderscheidt in navolging van Polya (1957) en Wickelgren (1974) binnen de wiskunde vindproblemen en bewijsproblemen en gaat in op verschillen in cognitieve processen die bij beide op kunnen treden.

Naast deze, en er zijn er meer, specifieke indelingen van problemen kunnen verschillen tussen problemen afgezet worden op drie dimensies. Op de eerste plaats kunnen problemen verschillen in de mate waarin een beroep wordt gedaan op bij de oplosser in zijn geheugen aanwezige *vakinhoudelijke kennis*. De tweede dimensie waarop problemen verschillen betreft de aard van de informatie die gebruikt moet worden om de oplossing te bereiken: *algoritmisch of heuristisch*. Tot slot verschillen problemen in de mate waarin ze *complex* zijn.

Het eerste onderscheid tussen problemen betreft de mate waarin voor de oplossing vakinhoudelijke kennis nodig is. Problemen waarbij geen vakinhoudelijke kennis nodig is (en waarbij dus iedereen succes bij het oplossen kan hebben) worden puzzle-achtige problemen genoemd. Bij deze problemen (zoals het missionarissen en kannibalen

probleem) wordt alleen een beroep gedaan op de algemene redeneervaardigheid van de oplosser. Alle specifieke informatie die nodig is voor de oplossing wordt in de probleembeschrijving verschaft. Bij vakinhoudelijke problemen daarentegen moet de oplosser zelf de benodigde (vakspecifieke) informatie uit zijn geheugen halen. Bhaskar & Simon (1977) spreken in dit laatste geval van probleemoplossen in semantisch rijke domeinen.

Simon (1978) merkt op dat er qua oplosproces geen onderscheid aan te brengen is tussen puzzle-achtige en vakinhoudelijke problemen. In beide gevallen vindt er volgens Simon door het toepassen van operaties (bewerkingen) een progressieve verandering plaats van het beeld dat de oplosser heeft van het probleem (de probleemruimte). Naast deze overeenkomst (die op algemeen nivo geformuleerd is) zijn er echter duidelijke kwalitatieve verschillen aan te wijzen. Bij vakinhoudelijke problemen kan er bijvoorbeeld niet volstaan worden met algemene operaties; deze problemen kunnen niet opgelost worden door algemene operaties te koppelen aan de conceptuele vakinhoud. Bhaskar & Simon (1977) illustreren dit door op te merken dat een intelligent persoon, in het bezit van een thermodynamica studieboek, maar zonder enige ervaring op het gebied van de natuurkunde, niet onmiddellijk in staat is thermodynamica problemen op te lossen. Kenmerkend voor vakinhoudelijk problemen is dat er vakinhoud en specifieke operaties uit het geheugen gehaald moeten worden. De organisatie van kennis in het geheugen is dan van belang voor het welslagen van dat zoekproces (Bhaskar & Simon, 1977; Reif, 1980).

Een tweede onderscheid tussen problemen is of ze al dan niet algoritmisch zijn op te lossen. In de vorige paragraaf bleek dat dit het onderscheid is dat meestal gebruikt wordt om kwalitatieve verschillen tussen problemen aan te brengen. Bij algoritmisch op te lossen problemen beschikt de oplosser over een regel die wanneer hij wordt uitgevoerd tot de perfecte oplossing leidt. Staartdelingen vormen voorbeelden van problemen die algoritmisch opgelost kunnen worden. Tegenover algoritmisch op te lossen problemen staan problemen waarbij de oplosser slechts regels kent die de oplossing mogelijk wel dichterbij brengen, maar deze niet garanderen, zogenaamde heuristische regels. Op het onderscheid tussen algoritmen en heuristieken wordt uitgebreid ingegaan in Mettes & Pilot (1980) en Groner, Groner & Bischof (1983).

Of een probleem een algoritmisch probleem is, is niet per se een kenmerk van het probleem maar hangt sterk samen met de kennis van de oplosser. Als hij nog nooit een staartdeling gezien heeft, dan heeft hij hier uiteraard geen algoritme voor. In feite is het dus niet correct om te spreken over heuristische en algoritmische problemen. Problemen zijn algoritmisch of heuristisch ten opzichte van de kennis van de oplosser. Elshout (1985) spreekt over een voor elke persoon verschillende grens van problematiciteit waarboven de persoon alleen heuristieken kan gebruiken.

Wel is het zo dat sommige problemen uit principieel of praktisch oogpunt gezien niet of nauwelijks te algoritmiseren zijn (zoals bv. casusposities, Crombag, De Wijker-slooth & Van Tuyl van Serooskerken, 1972), terwijl andere problemen, zoals redac-tiesommen, zich daar uitermate goed voor lenen (Landa, 1975).

Als een oplosser voor een probleem de beschikking heeft over een algoritme dan ligt de voornaamste moeilijkheid in het selecteren van dit algoritme. Als deze gevonden is dan kan het oplosproces alleen nog maar misgaan wanneer er vergissingen (bv rekenfouten) gemaakt worden. Bij problemen waarbij de oplosser een heuristiek in zijn geheugen heeft stopt de moeilijkheid niet bij het selecteren van die juiste heuristiek. Er moet vaak ook nog een niet in de heuristiek gespecificeerde hoeveelheid vakkennis geselecteerd worden, die vervolgens moet worden gecombineerd en toepasbaar gemaakt op het op te lossen probleem. Problemen oplossen met behulp van heuristieken zal daarom vaak moeilijker zijn dan oplossen met behulp van algo-ritmen.

Een derde dimensie waarop problemen kunnen variëren is de complexiteit. Comple-xiteit van een probleem kan te maken hebben met het aantal stappen dat nodig is om de oplossing te bereiken of met de hoeveelheid (in de probleem beschrijving ver-schafte of uit het geheugen geselecteerde) informatie die nodig is. De dimensie complexiteit is niet, zoals op het eerste gezicht kan lijken, een zuiver kwantitatieve dimensie. Meer complexe problemen kunnen aanleiding geven tot het optreden van kwalitatief andere cognitieve processen dan minder complexe problemen. Bij meer complexe problemen bijvoorbeeld zullen processen die het gehele oplosproces in de gaten houden een belangrijke rol spelen.

Bovenstaande dimensies (mate van uit het geheugen nodige vakinhoudelijke kennis, de mate van algoritmisch of heuristisch zijn, mate van complexiteit) komen terug in het onderscheid tussen goed en slecht gedefinieerde problemen. Simon (1978) zegt dat slecht gedefinieerde problemen ten opzichte van goed gedefinieerde problemen de volgende eigenschappen hebben:

1. The criterion that determines whether the goal has been attained is both more complex and less definite
2. The information needed to solve the problem is not entirely contained in the problem instructions, and indeed, the boundaries of the relevant information are themselves very vague
3. There is no simple 'legal move generator' for finding all of the alternative possibilities at each step (p.286).

Goed gedefinieerde problemen zijn dus problemen waarbij het duidelijk is wanneer de oplossing bereikt is, waarbij duidelijk is welke (specifieke) informatie gebruikt moet worden bij de oplossing en waarbij het in principe mogelijk is om (als de tijd en het geduld maar aanwezig zijn) via een trial and error methode de oplossing te vinden. Goed gedefinieerde problemen doen niet of nauwelijks een beroep op in het geheugen aanwezige specifieke vakkennis en zijn in het algemeen te algoritmiseren (zie ook Frederiksen, 1984). Een voorbeeld van een goed gedefinieerd probleem is het eerder genoemde missionarissen en kannibalen probleem (Greeno, 1974).

Slecht gedefinieerde problemen zijn in het algemeen complexe problemen die veel kennis van de oplosser vereisen, vaak is er zelfs zoveel kennis vereist dat de oplosser externe bronnen moet raadplegen. Het derde genoemde kenmerk zorgt ervoor dat slecht gedefinieerde problemen niet algoritmiseerbaar zijn. Over de oplossing van slecht gedefinieerde problemen kunnen zelfs erkende experts van mening verschillen. Komen goed gedefinieerde problemen vooral voor in kunstmatig gecreëerde situaties (spelsituaties, onderwijs), slecht gedefinieerde problemen zijn vooral te vinden in de praktijk (van beroepsuitoefening en wetenschap). Crombag (1984) zegt hierover: "Het ziet er naar uit, dat naarmate problemen belangrijker worden, dat wil zeggen vanwege hun verstrekkende gevolgen dringender om een oplossing vragen, de kans dat zij behoren tot de categorie 'slecht gedefinieerde problemen' toeneemt" (p.17). Als voorbeelden van slecht gedefinieerde problemen noemt Crombag (1984) juridische en medische problemen.

Dat het onderscheid tussen goed en slecht gedefinieerde problemen niet altijd even scherp te trekken is zal duidelijk worden bij de behandeling van de problemen die onderwerp zijn van dit proefschrift.

1.2.3 Vraagstukken in het eerstejaaronderwijs

Centraal in dit proefschrift staan vraagstukken zoals die voorkomen op tentamens in het eerstejaars onderwijs aan de TH Eindhoven. De onderzoeken waarvan in de volgende drie hoofdstukken verslag wordt gedaan hebben betrekking op het natuurkundevak Electriciteit en Magnetisme (E&M). Alhoewel de drie onderzoeken niet dezelfde delen van dat vak beslaan, is een integrale behandeling van de vraagstukken mogelijk.

Vraagstukken over E&M zoals die in dit onderzoek voorkomen hebben in het algemeen de volgende opbouw. In de probleembeschrijving wordt een situatie geschilderd die statisch of dynamisch kan zijn. In een statische situatie wordt een configuratie van tastbare objecten (spoelen, magneten etc.) en/of niet tastbare objecten (stromen, velden etc.) gegeven. Van deze objecten zijn specificaties (grootte, richting etc.) veelal gegeven. Gevraagd wordt meestal om de waarde van een bepaalde

grootheid uit te rekenen (bv. de elektrische veldsterkte in een bepaald punt). In een dynamische situatie wordt ook een configuratie van tastbare en/of niet tastbare objecten gegeven maar tevens wordt een bepaalde ingreep in die situatie gedaan, er gaat bv. een stroom lopen of er wordt een schakelaar gesloten. Gevraagd wordt dan naar de verandering die een bepaalde grootheid ondergaat onder invloed van een in de probleembeschrijving geïntroduceerde ingreep. Dit soort problemen worden door Mettes & Pilot (1980) specificatieproblemen genoemd.

Om een gegeven probleem op te kunnen lossen heeft een student kennis van de vakinhoud nodig. Deze kennis speelt een rol bij het interpreteren van het probleem en ook bij de verdere oplossing. Het betreft dan niet alleen puur theoretische kennis maar ook kennis over bepaalde in het vakgebied toegestane acties of procedures (als de student een flux door een kubus moet berekenen dan moet hij weten dat hij eerst de fluxen door de afzonderlijke zijden moet berekenen en vervolgens moet sommeren). Tevens moet er voor het oplossen kennis van mathematische procedures (vooral wat betreft integreren) aanwezig zijn. Er kan dus duidelijk gesproken worden van probleemoplossen in een semantisch rijk domein. Larkin (1981b) onderscheidt daarin bovendien nog formele domeinen. Deze domeinen bevatten ook een grote hoeveelheid semantische kennis maar worden bovendien gekarakteriseerd door de aanwezigheid van een verzameling principes die logisch voldoende is. Formele domeinen vormen een deelverzameling van semantisch rijke domeinen. Biologie bijvoorbeeld is een semantisch rijk domein maar geen formeel domein. Electriciteit & Magnetisme is zo'n formeel domein, de vier Maxwellvergelijkingen zijn in principe toereikend om alle voorkomende problemen op te lossen. Voor een gedetailleerde beschrijving van het vakgebied wordt verwezen naar Ferguson-Hessler & De Jong (1986b).

Het oplosproces dat kenmerkend is voor E&M problemen zal voor een belangrijk deel heuristisch van aard zijn. Door de grote variëteit in vraagstukken is het niet praktisch de vraagstukken te algoritmiseren. Op grond van de probleembeschrijving in het vraagstuk moet de oplosser een hoeveelheid vakspecifieke kennis uit zijn geheugen selecteren en deze vervolgens toepasbaar maken op het probleem. Wel kunnen delen van het oplosproces een algoritmisch karakter hebben. Door omwerking of 'transformatie' van de gegeven probleemsituatie zullen studenten vaak te maken krijgen met 'standaardproblemen' (Mettes & Pilot, 1980). Deze standaardproblemen zijn routinematig, algoritmisch, op te lossen.

Uitspraken doen over de complexiteit van problemen is niet eenvoudig. Daarom wordt slechts voorzichtig gesteld dat de E&M problemen die in dit proefschrift centraal staan, van een vrij grote complexiteit zijn; het opdelen van de problemen in subproblemen is bijvoorbeeld vaak noodzakelijk. Belangrijk is daarom dat het oplosproces door de oplosser goed in de gaten wordt gehouden (monitoring).

E&M vraagstukken dragen zowel kenmerken van goed als van slecht gedefinieerde problemen. De vraagstukken zijn goed gedefinieerd in die zin dat de uitgangspositie nauw is omschreven, dat er (tenminste) één duidelijk correct antwoord is en dat er over de correctheid van dat antwoord overeenstemming kan worden bereikt. De vraagstukken hebben kenmerken van slecht gedefinieerde problemen omdat niet alle informatie die nodig is voor de oplossing gegeven is en het oplosproces heuristisch van aard is. Simon (1978) merkte overigens zelf al op dat er geen scherpe grens te trekken valt tussen goed en slecht gedefinieerde problemen en dat er eerder sprake is van een continuum. Frederiksen (1984) stelt voor een derde categorie problemen in te voeren, de zgn 'structured problems requiring productive thinking'. Dit zijn problemen die duidelijk geformuleerd zijn en waarvan de oplossing op haar juistheid beoordeelbaar is, maar waarbij de 'problem-solving procedure, or some crucial step in the procedure, must be generated by the problem solver' (p.267). Deze categorie van problemen ligt dus tussen de goed en de slecht gedefinieerde problemen in en lijkt goed van toepassing op de vraagstukken zoals die in deze studie onderzocht worden.

1.3 Kennis en het oplossen van vakinhoudelijke problemen

De eerste inperking in dit proefschrift is dat er slechts gekeken wordt naar één soort problemen, E&M vraagstukken in het eerstejaars TH onderwijs. De tweede inperking is dat uit de factoren die het oplossen van dit soort problemen kunnen beïnvloeden, slechts één factor onderzocht wordt: vakinhoudelijke kennis.

Voordat dieper op de inhoud en organisatie van vakinhoudelijke kennis en op de rol van deze factor in het oplosproces ingegaan wordt, wordt eerst een overzicht gegeven van factoren die van invloed zijn op het oplosproces en wordt de keuze voor de factor vakinhoudelijke kennis nader toegelicht.

1.3.1 Factoren die het oplosproces beïnvloeden

Het proces van oplossen van problemen en zo het uiteindelijke resultaat wordt door een groot aantal factoren beïnvloed. Er is daarbij een eerste onderscheid te maken tussen factoren die buiten de oplosser liggen (externe factoren) en factoren die aan de oplosser zelf verbonden zijn (interne factoren). De externe factoren hebben te maken met (1) de aard van het probleem zelf of (2) met 'uiterlijke' kenmerken van de probleembeschrijving of de omgeving waarin het oplossen plaats moet vinden. Interne factoren zijn onder te verdelen in (3) cognitieve en (4) noncognitieve factoren.

1. Dat *het probleem zelf* het oplosproces mede bepaalt moge duidelijk zijn. Een belangrijk onderscheid werd al aangegeven tussen niet en wel vakinhoudelijke problemen (zie paragraaf 1.2.2). Voor vakinhoudelijke problemen geldt dat in de eerste plaats het probleem bepaalt welk vakgebied van toepassing is, en binnen een vakgebied welk specifiek deel van de vakinhoud. Ook andere kenmerken van een probleem bepalen mede het oplosproces. Bv. bij complexe problemen zal anders gewerkt worden dan bij niet complexe problemen. In het eerste geval zal er bijvoorbeeld meer tijd en aandacht besteed moeten worden aan processen die het gehele oplosproces in de gaten houden (monitoring) en sturen (de zg. metacomponents bij Sternberg, 1982).
2. De tweede groep externe factoren is niet direct aan het probleem zelf verbonden, maar liggen meer in '*de omgeving*' waarin het probleem wordt aangeboden. Enkele voorbeelden van dit soort factoren zijn: de hoeveelheid voor het oplossen beschikbare tijd, de vorm waarin het probleem gepresenteerd wordt, de mate van aanwezigheid van overbodige informatie in de probleemstelling, het al dan niet geven van hints tijdens het oplossen en het individueel of in groepen werken.

3. De eerste groep interne, aan de oplosser gebonden, factoren zijn de *cognitieve factoren*. Deze cognitieve factoren zijn weer onder te verdelen in *algemene cognitieve vaardigheden* en *specifieke kennis* (Messick, 1984). Messick noemt als algemene cognitieve vaardigheden: "comprehension, memory, visualization, restructuring, reasoning, fluency and judgement..." (p. 221). De oplossing van puzzle-achtige problemen waarbij alle informatie nodig voor de oplossing in de probleembeschrijving aanwezig is, is uitsluitend afhankelijk van algemene cognitieve vaardigheden. Bij vakinhoudelijke problemen echter zal de nadruk liggen op specifieke kennis. De algemene vaardigheden zullen hier overigens ook blijven meespelen, niet alleen bij het oplossen maar ook bij de *verwerving* van de vakinhoudelijke kennis.
4. *Noncognitieve factoren* zijn de tweede groep aan de oplosser verbonden factoren. Deze zijn volgens Messick (1979) nog het best te omschrijven als die persoonlijkheidskenmerken die prestaties kunnen voorspellen en die niet cognitief zijn (zie ook Ronning, McCurdy & Ballinger, 1984). Hij waarschuwt daarbij dat: "The distinction between cognitive and noncognitive assessment is thus not categorical, but one of degree in the relative balance between intellectual and other personality determinants of individual differences" (p. 282). Messick (1979) behandelt een groot aantal noncognitieve factoren waaronder: affects, attitudes, interests, motives, curiosity, temperament, social sensitivity, en cognitive styles. Deze laatste factor, cognitieve stijl, is een persoonlijkheidskenmerk dat tekenend is voor de niet scherpe distinctie tussen cognitieve en noncognitieve factoren. Vaags (1975) plaatst in tegenstelling tot Messick (1979) cognitieve stijlen onder de cognitieve factoren. Onder een cognitieve stijl kan worden verstaan een bepaalde vrij constante benaderingswijze van informatieverwerking. Zo onderscheidde Flaherty (1975) bijvoorbeeld bij een onderzoek naar het oplossen van natuurkundige problemen verbale en fysieke probleemoplossers. Om studenten als zodanig te kunnen classificeren moesten zij vergelijkingen opstellen bij natuurkundig onmogelijke, verbaal gestelde, problemen. Van de 67 studenten uit het onderzoek werden er 30 als verbale typen en 37 als fysieke typen geclassificeerd. De auteur zegt hierover: "a verbal problem solver tends to concentrate on the literal direct translation of the words of a problem, while a physical problem solver sets up a type of internal representation of the physical situation" (p.223).

In dit proefschrift wordt een inperking gemaakt tot één soort problemen, nl. E&M problemen zoals ze voorkomen op eerstejaars tentamens. Dat betekent dat de externe factoren zoals die onder (1) en (2) geformuleerd werden vastliggen. E&M vraagstukken zijn van een bepaalde soort (zie par. 1.2.3) en ook de omgeving waarin

het oplossen plaats vindt ligt vrij nauw vast. Een tentamensituatie is slechts binnen enge grenzen variabel; er bestaat een vaste tijd, er is nooit samenwerking mogelijk (of in ieder geval toegestaan) etc.

Interne factoren zullen uiteraard over studenten variëren. De onderzoeken uit dit proefschrift hebben betrekking op één van deze interne factoren, namelijk vakinhoudelijke kennis. Voor deze keuze zijn twee redenen. In de eerste plaats kan verwacht worden dat bij problemen als E&M problemen, vakinhoudelijke kennis de belangrijkste op het oplossen van invloed zijnde factor zal zijn. In de tweede plaats, en hier komen de praktische onderwijsimplicaties in beeld, is vakinhoudelijke kennis door middel van onderwijs te beïnvloeden. De relaties tussen algemene cognitieve vaardigheden en noncognitieve factoren enerzijds en het oplossen van problemen anderzijds zullen zeker aanwezig zijn, maar deze factoren zijn door het onderwijs niet zo eenvoudig en zeker niet in korte tijd te beïnvloeden. Messick (1984) merkt bijvoorbeeld op dat algemene cognitieve vaardigheden niet alleen gevormd en ontwikkeld worden binnen de muren van een onderwijsinstituatie maar ook en vooral daarbuiten. Onderwijs is in eerste instantie gericht op het aanbrengen van verandering in de factor specifieke, vakinhoudelijke kennis. Studenten komen 'onwetend' over een onderwerp binnen en krijgen de vakinhoud in het onderwijs voorgeschoteld. Onwetend staat hier tussen aanhalingstekens omdat er een toenemende evidentie is voor het feit dat studenten met misconcepties zitten opgescheept (Clement, 1979; Viennot, 1979; Clement, Lochhead & Monk, 1981) die in het onderwijs doorbroken moeten worden (Gerritsen van der Hoop, 1986).

De tweede inperking in dit proefschrift is nu duidelijk, slechts de rol van vakinhoudelijke kennis bij het oplossen van E&M problemen zal belicht worden. Hiermee wordt tevens aangesloten op de recente ontwikkelingen in het onderzoek naar probleemoplossen zoals dat in paragraaf 1.1 behandeld werd. Voordat nu ingegaan wordt op de inhoud en organisatie van vakinhoudelijke kennis zal eerst een model voor het oplossen van vakinhoudelijke problemen behandeld worden waarin de plaats van kennis in het oplosproces wordt toegelicht.

1.3.2 Een model voor het oplossen van vakinhoudelijke problemen

Binnen de cognitieve psychologie wordt vrij algemeen aangenomen dat een persoon die een probleem oplost een *mentale voorstelling of probleemrepresentatie* van dat probleem construeert. Deze voorstelling of probleemrepresentatie wordt geacht de spil te zijn waar het hele oplosproces om draait (zie bijvoorbeeld Egan & Grimes-Farrow, 1982). Het begrip probleemrepresentatie komt sterk overeen met het door Vaags (1975) in navolging van Newell & Simon (1972) gehanteerde begrip

probleemruimte. De probleemrepresentatie kan gezien worden als een samenstelsel van extern (in de probleembeschrijving) verschaft informatie en intern bij de oplosser (in zijn geheugen) aanwezige informatie (zie ook Elshout & Wielinga, 1978).

De door de oplosser gevormde probleemrepresentatie is een mentale voorstelling die uiteraard gebaseerd is op de aangeboden probleembeschrijving (*de externe informatie*). De inhoud van deze externe informatie zal daarom terug te vinden zijn in de representatie (een oplosser die een representatie van een E&M probleem maakt zal dit hoogstwaarschijnlijk in deze vakinhoud doen). Ook structurele, niet strikt inhoudelijke, kenmerken van de probleembeschrijving kunnen de representatie beïnvloeden. Zo vond Mayer (1982) dat zinnen in redactiesommen die een relatie tussen twee variabelen aangaven veel moeilijker in een interne representatie om te zetten waren dan zinnen waarin een waarde aan een variabele wordt toegekend.

De probleemrepresentatie hangt echter niet alleen af van de externe informatie; zelden zal de representatie een exacte afspiegeling vormen van de gegeven probleembeschrijving. Eerder kan er gesproken worden over interpretatie die de oplosser van de probleembeschrijving geeft. De probleemrepresentatie wordt dus gevormd op grond van de externe informatie en de reeds aanwezige kennis van de oplosser (*de interne informatie*). De resulterende representatie zal een soort 'samenstelsel' tussen die twee zijn. De invloed van de kennis van de oplosser op de probleemrepresentatie kan plaats vinden via *selectieve perceptie* van de probleembeschrijving, en via het *toevoegen van oplosinformatie* uit het geheugen.

De eerste wijze van beïnvloeding van de probleemrepresentatie door de kennis van de oplosser vindt plaats via (selectieve) waarneming. Wanneer de probleemoplosser geconfronteerd wordt met een probleembeschrijving dan kan hij vanuit zijn kennis bepaalde verwachtingen over de samenstelling van de probleembeschrijving opstellen en naar aanleiding daarvan toetsend naar informatie in de probleembeschrijving gaan zoeken (zie bv. Braune & Poshay, 1983 en tevens paragraaf 1.3.4). Dit selectieve waarnemingsproces kan ervoor zorgen dat elementen uit de probleembeschrijving die als niet relevant worden waargenomen niet in de probleemrepresentatie worden opgenomen. Met behulp van oogbewegingsregistratietechnieken kan dit proces van selectieve waarneming bestudeerd worden (zie bijvoorbeeld Simon & Barenfeld, 1969; ook binnen het onderzoek naar tekstbestudering wordt deze techniek gebruikt, zie Rothkopf & Billington, 1979). Dijkstra, Van der Stelt & Van der Sijde (1983; 1985) vonden met deze techniek interessante verschillen tussen beginners en experts bij het analyseren van tandheelkundige röntgenfoto's. Experts bleken meer aandacht te hebben voor 'cognitive conspicuous areas'. Op deze plekken is dus echt iets met het gebit aan de hand. Beginners hadden meer aandacht

voor 'visual conspicuous areas'.

In het proces van perceptie vindt niet alleen selectieve aandacht plaats als gevolg waarvan bepaalde informatie uit de probleembeschrijving niet zal doordringen in de probleemrepresentatie, maar wordt ook informatie over de probleemsituatie op zich toegevoegd. Niet aanwezige, maar voor de oplosser logische, informatie wordt in de probleemrepresentatie opgenomen. Daarnaast beïnvloedt de kennis van de oplosser de probleemrepresentatie niet alleen via de perceptie, maar wordt er vanuit de kennis ook informatie over de oplossing toegevoegd aan de probleemrepresentatie. Zonder toevoeging van oplosinformatie (in de vorm van principes, formules, procedures etc.) zal de oplossing van een probleem niet mogelijk zijn. Het onderscheid tussen deze laatste vorm van toevoeging van informatie en de toevoeging die via de perceptie plaats vindt is niet scherp te trekken.

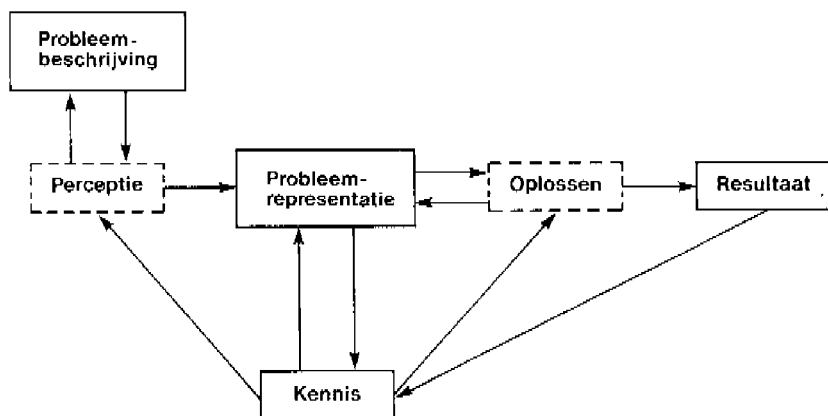
De invloed van kennis op de probleemrepresentatie wordt fraai geïllustreerd in de onderzoeken waarin personen problemen moeten categoriseren. Chi et al. (1981) vonden dat experts problemen anders categoriseerden dan beginners. Experts sorteerden op het achterliggende principe van het probleem terwijl beginners op de uiterlijke verschijningsvorm van de opgave afgingen. Omdat experts en beginners niet alleen in kennis verschillen maar ook op allerlei ander gebieden (leeftijd, aanleg, training) repliceerden Schoenfeld & Herrmann (1982) het onderzoek van Chi et al. (1981) bij beginners voor en nadat zij een cursus hadden gevolgd. Het onderzoek betrof wiskundige problemen. Na de cursus sorteerden hun proefpersonen de problemen naar aanleiding van het benodigde oplosprincipe, terwijl ze voor de cursus nog een sortering op grond van oppervlakkige kenmerken maakten. Wanneer aangenomen wordt dat personen de voorstelling die zij zich van een probleembeschrijving maken gebruiken voor de categorisatie hiervan, dan maken ongecoefde beginners klaarblijkelijk andere probleemrepresentaties dan geoefde beginners en experts.

Tussen de regels door werd al duidelijk dat de probleemrepresentatie geen statisch gegeven is. Er kunnen in het oplosproces drie fasen in de probleemrepresentatie onderscheiden worden. In een eerste fase wordt een voorstelling van de probleemsituatie op zich opgebouwd. Er vindt daarbij dan voornamelijk selectieve waarneming plaats inclusief toevoeging van informatie betreffende de probleemsituatie op zich. In een tweede fase wordt er vanuit het geheugen allerlei informatie betreffende de oplossing toegevoegd. Daarnaast verandert de representatie nog wanneer de oplosser feitelijk gaat oplossen, dwz. manipulaties toe gaat passen op de gebundelde informatie in de probleemrepresentatie. Daarbij wordt ook meer algemene informatie (bv. algemene logica en rekenkundige bewerkingen) uit het geheugen gebruikt.

De hier genoemde fasen zijn in het actuele oplosproces waarschijnlijk niet zo

strikt gescheiden als het hier lijkt. Tijdens de eerste fase zal al wel oplosinformatie 'meekomen' en tijdens de derde fase (het feitelijke oplossen) zal nog weleens teruggerepen moeten worden naar de eerste fase van opbouw van de representatie van de probleemsituatie. Er is daarom eerder sprake van een functioneel dan van een temporeel onderscheid.

De rol van kennis en de plaats van de probleemrepresentatie in het oplosproces worden nog eens schematisch weergegeven in Figuur 1.1. In de figuur wordt een onderscheid gemaakt tussen informatietoestanden (de vakken met een ononderbroken lijn) en processen (de vakken met een onderbroken lijn). De informatiestromen zijn aangegeven met pijlen. In feite is het hier gepresenteerde model een toepassing van het algemene model van informatieverwerking zoals dat in de cognitieve psychologie gehanteerd wordt (zie par. 1.1). In hoeverre de probleemrepresentatie die een oplosser creëert juist en volledig is hangt voor een groot deel af van de inhoud van zijn kennis, maar ook van de manier waarop die kennis georganiseerd is. Deze twee aspecten zullen nu achtereenvolgens besproken worden.



Figuur 1.1. Informatiestromen tijdens het oplosproces.

1.3.3. Vakinhoudelijke kennis

Om problemen zoals E&M vraagstukken op te lossen moet een student beschikken over een redelijke hoeveelheid vakinhoudelijke kennis. Hierbinnen zijn verschillende

soorten te onderscheiden (zie ook bv. Messick, 1984); De Jong & Ferguson-Hessler (1983; 1984) spraken in dat verband van een *kennisrepertoire*. In het kennisrepertoire zijn te onderscheiden:

- kennis van probleemsituaties
- declaratieve kennis
- procedurele kennis
- kennis van strategie.

Deze verschillende soorten kennis spelen in op de verschillende fasen van de probleemrepresentatie zoals die in de vorige paragraaf genoemd werden. De verschillende soorten kennis zullen nu behandeld worden.

Kennis van probleemsituaties

In een vrij gestructureerd vak als E&M in het eerstejaars onderwijs komt een beperkt aantal typen van probleemsituaties voor. Kennis van probleemsituaties betreft, de naam suggereert dat al, kennis van situaties zoals die in een vakgebied voor kunnen komen. Deze kennis is vooral actief in de eerste fase van het oplosproces wanneer de oplosser de probleembeschrijving verkent en tracht te interpreteren. Kennis van probleemsituaties stelt de oplosser in staat relevante kenmerken uit de probleembeschrijving te zeven (selectieve aandacht, Resnick & Glaser (1976) spreken van 'feature scanning') en indien nodig informatie in de beschrijving aan te vullen (Braune & Foshay, 1983). Het herkennen van probleemsituaties wordt door een aantal auteurs als een belangrijk onderdeel van probleemoplossen gezien (Simon, 1980; Riley, Greeno & Heller, 1983; Frederiksen, 1984; Mettes, 1984).

Kennis van probleemsituaties zou als behorend tot de declaratieve kennis kunnen worden gezien. Toch is het nuttig een onderscheid te maken in deze twee soorten kennis omdat (zoals in paragraaf 1.3.4 zal worden toegelicht) kennis van probleemsituaties een rol speelt bij de selectie uit het geheugen van informatie die voor de oplossing van belang is (zowel declaratieve als procedurele kennis).

Declaratieve kennis

Declaratieve kennis, ook wel conceptuele kennis (Posner, 1978), propositionele kennis (Greeno, 1978a en 1980) of descriptieve kennis (Lodewijks, 1981) genoemd, is kennis van feiten en principes uit een bepaald vakgebied. Declaratieve kennis omvat 'de theorie' en is dus het soort kennis zoals dat in het algemeen in syllabi en leerboeken is samengebracht. In het vakgebied E&M bestaat deze kennis voornamelijk uit concepten, formules, betekenissen van symbolen en principes. Zo is de 'wet van Gauss' onderdeel van de declaratieve kennis en ook een principe als 'geïnduceerde lading = inducerende lading' behoort hiertoe.

Declaratieve kennis hoeft niet per se oppervlakkige, uit het hoofd geleerde kennis te zijn. Een goede begripsmatige declaratieve kennis houdt in dat er verbanden bestaan tussen vakinhoudelijke concepten onderling en ook tussen vakinhoudelijke concepten en de werkelijke wereld. Resnick & Ford (1981) noemen in navolging van Greeno (1978a) deze twee kwaliteiten van declaratieve kennis 'interne integratie' respectievelijk 'verbondenheid'. In verband met deze laatste eigenschap van kennis constateert Van Streun (1980) dat het bij leerlingen die met wiskunde omgaan nogal eens voorkomt dat zij dit vak als een notatiespelletje zien. Het resultaat kan dan zijn dat zij begripsmatige fouten gaan maken. Deze gevaren zijn bij een vak als natuurkunde uiteraard ook aanwezig.

Declaratieve kennis speelt een (bescheiden) rol in de eerste fase van het oplosproces wanneer er bijvoorbeeld gevolgtrekkingen in de situatie op zich gemaakt moeten worden, maar is echter vooral van belang in de tweede fase wanneer er informatie betreffende de oplossing (bv. formules) aan de probleemrepresentatie moeten worden toegevoegd.

Procedurele kennis

Kenmerkend voor problemen is dat er manipulatie met informatie plaats moet vinden (zie par. 1.2.1). Deze manipulaties vinden plaats met in de probleembeschrijving verschaft en via de perceptie in de representatie opgenomen informatie samen met de daaraan toegevoegde declaratieve kennis. Kennis van acties, manipulaties of handelingen die in een specifiek vakgebied zijn toegestaan wordt hierna aangeduid met procedurele kennis. Procedures in het vakgebied E&M zijn bijvoorbeeld het kiezen van een gesloten kring of oppervlak bij de toepassing van bepaalde integraalstellingen (zoals de wet van Ampère) en de kurknetrekkerregel voor kringintegralen. Procedurele kennis kan algoritmisch of heuristisch van aard zijn (zie paragraaf 1.2.2).

Wanneer het begrip procedurele kennis ruim wordt opgevat kan hieronder ook het trekken van conclusies, eenvoudige rekenkundige bewerkingen etc. worden verstaan. Deze elementen van kennis worden in deze studie niet tot de procedurele kennis gerekend, maar worden in navolging van Reif & Heller (1982) aangeduid met hulpkennis (ancillary knowledge); deze hulpkennis valt eerder onder de algemene cognitieve vaardigheden dan onder specifieke vakkennis (zie par. 1.3.1 onder punt 3). Bepaalde (voor E&M) vrij specifieke wiskundige procedures worden in dit proefschrift wel tot de procedurele kennis gerekend.

Het onderscheid tussen declaratieve en procedurele kennis kan soms meer een kwestie van vorm zijn dan van inhoud. Messick (1984) wijst erop dat ook concepten of proposities (declaratieve kennis) als procedures geschreven kunnen worden. Con-

cepten worden dan gezien als procedures om betekenis uit aangeboden woorden of patronen te kunnen destilleren, proposities als productieregels om gevolgtrekkingen te kunnen maken. Ook Messick (1984) geeft echter aan dat een onderscheid tussen procedurele en declaratieve kennis zinvol en nuttig is. Het essentiële verschil tussen beide is dan dat procedures *direct een actie of handeling* betreffen, terwijl declaratieve kennis nog een '*interpretatie*' nodig heeft om tot actie te kunnen leiden. Declaratieve kennis (met daarbij algemene procedures) is meer generaliseerbare en wendbare kennis terwijl procedurele kennis specifiekere en minder generaliseerbaar is maar daarentegen efficiënter en mogelijk effectiever (zie ook Anderson, 1982). Het is dan ook om deze redenen dat hier formules eerder tot de declaratieve kennis dan tot de procedurele kennis gerekend worden. Formules zijn in het geheugen in het algemeen opgeslagen als formules en niet als acties. Bij de oplossing van een probleem selecteert de oplosser een of meerdere formules uit zijn geheugen. Vervolgens moet de oplosser ook nog iets doen. Soms bestaat dit doen slechts uit het invullen van waarden in de formule (hulpkennis) maar meestal omvat het meer. Stel dat de student de totale flux door een kubus moet berekenen. Hij heeft dan onder andere de formules voor de flux nodig maar ook de *procedurele kennis* dat men de vlakken van een kubus afzonderlijk kan bekijken en de zo gevonden fluxen kan sommeren.

Procedurele kennis wordt aan de probleemrepresentatie toegevoegd om het feitelijke oplossen mogelijk te maken. Deze toevoeging zal meestal plaats vinden op het moment dat er een goed beeld van de probleemsituatie bestaat en er voor de oplossing relevante declaratieve kennis aan is toegevoegd.

Strategische kennis

Strategische kennis wijkt op twee punten af van de eerste drie soorten kennis. Van de eerste drie soorten kennis kon aangegeven worden in welke fase van het oplosproces of op welke informatiestroom zij voornamelijk van invloed waren. Strategische kennis heeft betrekking op het gehele oplosproces. Bovendien is strategische kennis de minst vakinhoudelijke van de vier kenniscomponenten.

Een strategie kan gezien worden als een algemeen actieplan waarin de volgorde van afzonderlijke cognitieve handelingen is vastgelegd (Posner & McLeod, 1982). Strategieën regelen als het ware het oplosproces; Schoenfeld (1979) spreekt dan ook van een '*managerial strategy*'. Auteurs die zich met strategieën bezighouden onderscheiden meestal fasen in het oplosproces. Schoenfeld (1979) onderscheidt: analyse, ontwerp, implementatie en verificatie. De fasen die Reif et al. (1976) noemen wijken hier nauwelijks van af: beschrijving, planning, implementatie en controle. Een belangrijke nederlandse studie over het oplossen van natuurkundige problemen wordt gevormd door de dissertatie van Mettes & Pilot (1980). Zij ontwikkelden een model

voor het oplossen van problemen, het zogenaamde 'Gewenst Handellingsverloop' (GHV). Dit GHV is een samenstelsel van een algemene strategie en vakspecifieke detailleringen (heuristische procedures). De strategie in het GHV omvat de opeenvolgende fasen: oriëntatie, planning, kiezen van een deelprobleem, eventueel transformeren tot standaardprobleem, uitvoering, resultaat vaststellen en evaluatie.

Procedures en strategieën hebben beide betrekking op acties in het oplosproces. Het verschil tussen beide ligt in de mate van specificiteit. Procedures hebben betrekking op een klein deel van het oplosproces en zijn meestal sterk vakinhoudelijk bepaald, strategieën hebben betrekking op een uitgebreid deel van het oplosproces en zijn vaak te gebruiken bij meerdere vakinhouden. Relevant is hier het onderscheid dat Schoenfeld (1983) maakt tussen 'strategies' en 'tactics'. Tactische beslissingen hebben volgens hem een lokaal karakter, algoritmen en heuristieken rekent hij hier toe. Strategieën daarentegen hebben betrekking op het gehele oplosproces. Zoals te verwachten was is er echter geen sprake van een strikte dichotomie, maar eerder van een glijdende overgang. Tekenend hiervoor is dat termen nogal eens door elkaar gebruikt worden. "There are many procedures.....; they range from algorithms for arithmetic computation to general strategies, heuristics and plans." (Frederiksen, 1984, p. 368). Algemeen toepasbare heuristieken zoals 'means-end-analysis' (Newell & Simon, 1972) en 'hypothesize and test' en 'best-first' (Simon, 1980) zijn hoewel ze niet volledig voldoen aan de hier gegeven omschrijving van strategieën, eerder te omschrijven als strategieën dan als procedures, zoals Newell & Simon (1972) zelf ook doen met means-end-analysis.

In deze paragraaf werd een beeld gegeven van kennissoorten die in het geding zijn bij het oplossen van problemen. Nodig is dat een oplosser een probleembeschrijving herkent en interpreteert, daar oplosinformatie in de vorm van bijvoorbeeld principes en formules bij kan halen en weet welke manipulaties toegestaan en wenselijk zijn. Daarnaast lijkt het van belang te zijn dat de oplosser een algemeen actieplan kent dat hem in staat stelt op een systematische wijze zijn oplossing te organiseren. Duidelijk zal zijn dat deze analyse van kennissoorten vooral toegesneden is op problemen die in deze studie behandeld worden. Dat betekent echter niet dat er geen generalisatie naar andere vakgebieden plaats kan vinden.

1.3.4 De organisatie van vakinhoudelijke kennis

Kennis in het lange termijn geheugen kan beschouwd worden als bestaande uit een zeer groot aantal afzonderlijke elementen. Deze kenniselementen zweven niet los rond maar hebben onderlinge verbanden. Bij de bespreking van declaratieve kennis

werd al aangegeven dat begripsmatige declaratieve kennis betekent dat er relaties tussen de afzonderlijke kenniselementen bestaan. Anderson (1984) drukt het als volgt uit: "...because the essence of knowledge is structure. Knowledge is not a 'basket of facts' " (p. 5). Om een oplosproces niet als een van toeval afhangend proces te laten verlopen is het ook noodzakelijk dat de kenniselementen niet alleen binnen een kennissoort verbonden zijn maar ook dat er tussen de onderscheiden kennissoorten verbanden bestaan. Posner & McLeod (1982) komen in een overzichtsartikel tot de conclusie dat het cruciale verschil tussen experts en beginners in een vakgebied niet ligt in het toepassen van procedures (in hun termen: elementaire operaties) en strategieën, maar in de *organisatie van kennis*. Het geheel van kennis dat een oplosser heeft inclusief zijn organisatie van die kennis zal hierna ook aangeduid worden met de term *cognitieve structuur*.

Eén van de belangrijkste functies van een cognitieve structuur is dat het zoeken van relevante informatie in het geheugen door de oplosser effectief kan plaatsvinden. Een adequate cognitieve structuur kan er voor zorgen dat informatie betreffende de oplossing (declaratieve en procedurele kennis) op de juiste momenten beschikbaar komt.

Nadat het probleem van de beschikbaarheid van kennis geïllustreerd is zal in deze paragraaf aandacht besteed worden aan cognitieve structuren en zal vooral veel aandacht besteed worden aan cognitieve structuren die opgebouwd zijn volgens probleemschemata.

Beschikbaarheid van kennis

Het vermogen van een student om problemen in een bepaald vakgebied op te kunnen lossen wordt uiteraard in hoge mate bepaald door zijn kennis van feiten en procedures uit de vakinhoud. Aanwezigheid van kennis in het geheugen lijkt echter niet voldoende. Specifieke delen van die kennis in het geheugen moeten beschikbaar zijn op momenten dat dat nodig is. Eén van de belangrijke aspecten van probleemoplossen is het uit het geheugen naar voren halen van voor de oplossing relevante informatie.

Dat in het geheugen aanwezige relevante informatie niet altijd gebruikt wordt, wordt aangetoond in een onderzoek van Perfetto, Bransford & Franks (1983). Zij legden proefpersonen problemen voor als het volgende:

"Uriah Fuller, the famous Israeli superpsychic, can tell you the score of any baseball game before the game starts. What is his secret?"

Bij elk probleem werd een aanwijzing voor de oplossing opgesteld. De aanwijzing voor bovenstaand probleem bijvoorbeeld is: "Before any game is played, there is no

score". Proefpersonen kregen 12 van dit soort problemen op te lossen. Voordat zij dit deden hadden zij een lijst met 12 bij de problemen horende aanwijzingen gekregen met daarbij de opdracht deze aanwijzingen naar hun waarheidsghalte te beoordelen. Een groep proefpersonen werd daarbij verteld dat de zinnen die ze beoordeeld hadden hen konden helpen bij het oplossen van de problemen die ze daarna kregen. Een ander deel van de proefpersonen kreeg deze laatste informatie niet. De eerste groep bleek veel beter in het oplossen van de problemen dan de tweede groep. Dit resultaat bleek repliceerbaar in een aantal aanvullende experimenten. Dit onderzoek toont volgens Perfetto et al. (1983) aan dat aanwezigheid van voor het probleem relevante kennis in het geheugen nog geen beschikbaarheid van deze kennis hoeft te betekenen op het moment van probleemoplossen. Perfetto et al. (1983) verwerpen de veronderstelling dat proefpersonen uit de niet-geïnformeerde groep de aanwijzingen wel opriepen uit het geheugen maar deze als niet-relevant terzijde legden. In een voorstudie was namelijk gebleken dat wanneer problemen en aanwijzingen samen gegeven werden, meer dan 90% van de proefpersonen uit de voorstudie deze aanwijzingen bij de oplossing gebruikten. Perfetto et al. (1983) betitelden deze aanwijzingen dan ook als 'obvious'.

Het onderzoek van Perfetto et al. (1983) geeft niet aan dat het de proefpersonen in hun onderzoek ontbrak aan enige vorm van kennisorganisatie, maar wel dat zij niet de voor deze problemen juiste organisatie van kennis hadden.

Perfetto et al.'s (1983) onderzoek had betrekking op niet vakinhoudelijke problemen. Ook bij vakinhoudelijke problemen wordt de relatie tussen beschikbaarheid van kennis en de structuur van de in het geheugen opgeslagen kennis gelegd. Willems (1981) spreekt in navolging van Van Parreren over 'systeemscheiding' wanneer relevante kennis in het geheugen niet gekoppeld is aan kenmerken van probleemsituaties.

'Chunking'

Onderzoek van Larkin (1979) geeft aan dat tussen personen van een verschillend competentienivo in een vakgebied, verschillen in cognitieve structuur bestaan. Larkin deed onderzoek naar het oplossen van natuurkundige problemen (DC circuits) tussen beginners en experts. Daarbij constateerde zij dat wanneer een expert en een beginner vakinhoudelijke principes genereerden tijdens probleemoplossen dit bij de expert in de tijd gezien in groepen gebeurde, terwijl de beginner de formules random in de tijd gezien genereerde. De expert had dus zogenaamde 'bursts' van principes. Hieruit leidde Larkin af dat de expert vergelijkingen in groepen (chunks) bij elkaar in het geheugen had opgeslagen. Wanneer één van de vergelijkingen uit zo'n groep naar voren gehaald wordt, dan komen automatisch de andere vergelijkingen uit die groep mee. Larkin merkt op dat experts bij het oplossen van problemen in het voordeel zijn

ten opzichte van beginners omdat zij niet als beginners uit allemaal losse formules moeten kiezen. Men zou daarbij kunnen verwachten dat dit voordeel alleen opgaat wanneer de groepering van formules naar aanleiding van probleemsituaties plaatsvindt en er bovendien in zo'n chunk ook kenmerken van de belangrijke probleemsituaties zijn opgeslagen. Dit laatste is nodig om de beschikbaarheid van de relevante informatie (groepen formules) te garanderen.

Larkin (1979) trachtte een aantal studenten dit principe van chunking aan te leren. Zij doceerde deze studenten: "when certain principles are applied it is generally useful to proceed by applying specified other principles" (p. 287). De studenten werd tevens verteld dat het nuttig is een kwalitatieve analyse van een probleem te maken. Die kwalitatieve analyse hield in dat er een schets of een voorstelling van de probleemsituatie gemaakt werd. De proefpersonen kregen geen oefening in chunking of het maken van een kwalitatieve analyse. Een controlegroep volgde het reguliere onderwijs.

Larkin (1979) rapporteert een aanmerkelijke verbetering van de prestaties in het oplossen van problemen door de experimentele studenten. De voor de hand liggende vraag is natuurlijk of deze verbetering toegeschreven kan worden aan het chunken of aan het maken van een kwalitatieve analyse. Het antwoord op deze vraag moet waarschijnlijk zijn dat kennisorganisatie en het maken van een kwalitatieve analyse niet los van elkaar gezien mogen worden. Het kunnen maken van een kwalitatieve analyse hangt waarschijnlijk sterk af van de organisatie van de kennis. Liggen principes die bij een probleemsituatie horen in één chunk, dan zal de kwalitatieve analyse hierdoor gefaciliteerd worden.

Opmerkelijk is dat Larkin weinig aandacht besteedt aan het betrekken van 'chunks' van informatie op probleembeschrijvingen. Voor het beschikbaar krijgen van oplossingsinformatie lijkt de verbinding hiervan met kennis van probleemsituaties van groot belang. Een benadering waarin met dit laatste expliciet rekening wordt gehouden is de schematheorie. Voordat op de relatie tussen deze theorie en het oplossen van problemen wordt ingegaan zal een korte impressie van de theorie gegeven worden. Een uitgebreidere bespreking is elders te vinden (Rumelhart & Ortony, 1977; Rumelhart, 1980; Rumelhart & Norman, 1981).

Schematheorie

Binnen de cognitieve informatieverwerkingstheorie wordt kennis of informatie in het lange termijn geheugen (LTM) opgevat als een netwerk van informatie-eenheden (knopen of punten in het netwerk) en relaties daartussen (zie ook par. 1.1). Wickelgren (1979) onderscheidt binnen die informatie-eenheden drie nivo's: concep-

ten, proposities en schemata.

Concepten vormen de kleinste eenheid van informatie. Een concept beschrijft een klasse van objecten (waaronder zowel concrete als abstracte objecten worden verstaan). Concepten zijn bijvoorbeeld de begrippen 'kracht', 'versnelling' en 'massa'. *Proposities* zijn informatie-eenheden waarin relaties tussen twee of meerdere concepten worden aangegeven. Een propositie is bijvoorbeeld: $\text{kracht} = \text{massa} \times \text{versnelling}$. *Schemata* zijn grotere eenheden van informatie die meerdere proposities en de relaties daartussen omvatten (Boonman, 1980). Rumelhart & Ortony (1977) schrijven over schemata: "Schemata are data structures for representing the generic concepts stored in memory."....A schema contains, as part of its specification, the network of interrelations that is believed to generally hold among the constituents of the concepts in question. Schemata, in some sense, represent stereotypes of these concepts." (p. 101). Deze opmerkingen tonen al aan dat de grenzen tussen concepten, proposities en schemata niet altijd scherp getrokken kunnen worden. Duidelijk is echter wel dat schemata een grotere hoeveelheid informatie bevatten dan proposities en concepten. Uiteraard kan zo'n schema dan weer aangeduid, betiteld, worden met één naam (generic concept, Rumelhart & Ortony, 1977).

Kort gezegd vormen schemata geabstraheerde eenheden van informatie die een model van een situatie bevatten. Schemata worden bij een bepaalde situatie geactiveerd door een matchingsprocedure: "Schemata are selected for their use according to their similarity to the situation" (Norman, Gentner & Stevens, 1976, p. 184). De variabelen in het model dat het schema bevat krijgen een waarde bij confrontatie met een feitelijke situatie. Aan variabelen waarvoor geen waarde in de feitelijke situatie gevonden kan worden, wordt vanuit het schema (dus vanuit de kennis van de persoon en niet vanuit de empirie) een waarde toegekend. Voor elke variabele in het schema heeft de persoon zo'n zogenaamde 'default-waarde'. Gezamenlijk vormen alle default waarden het basismodel of prototype van het schema. Een voorbeeld van de toepassing van de schematheorie op natuurkundige informatie kan gevonden worden bij Hewson & Posner (1984).

Ook schemata staan niet los van elkaar in de cognitieve structuur maar zijn aan elkaar gerelateerd. Veelal wordt daarbij een hiërarchische structuur verondersteld, schemata zijn dan ingebed in andere (meer omvattende) schemata. Dit impliceert dus ook dat schemata verschillen in algemeenheid en abstractie. Daarnaast worden er verschillende soorten schemata onderscheiden. De term *schema* zelf wordt veelal gereserveerd voor kennis van feitelijke zaken. Zo kan iemand een schema hebben over 'werkloosheid in Nederland'. *Scripts* zijn vormen van schemata die modellen geven van stereotype sociale gebeurtenissen. De meest gebruikelijke volgorde

van gebeurtenissen en participerende personen zijn hierin opgenomen (Schunk & Abelson, 1977). Een script kan bijvoorbeeld informatie bevatten over 'inschrijven op het arbeidsburo'. Het meest essentiële verschil met schemata is dat scripts een tijdsfactor bevatten. Daarnaast wordt er ook nog gesproken over *plans*. Martin (1984) definieert deze als volgt: "A very important class of schemata is the class of plans. Plans are schemata that individuals activate to perform particular tasks. A plan is a set of sequenced cognitive operations that we apply to information to complete a task" (p. 163). Om de eerder genoemde voorbeelden door te trekken: iemand kan een plan hebben voor 'het verwerven van een betrekking'. Plans bevatten naast een tijdsfactor ook handelingen.

Alhoewel de schematheorie zeer breed ingevoerd is in de cognitieve psychologie krijgt deze benadering ook kritiek. Hamaker (1980) wijst erop dat de soms opgevoerde verregaande detaillering van theoretische concepties als het schemabegrip, niet gebaseerd is op de werkelijkheid. Er worden volgens hem aan het menselijke informatieverwerkende systeem kenmerken toegekend die slechts gebaseerd zijn op de gehanteerde analogie met de computer en niet op de empirie.

Een tweede kritiek op de schematheorie is dat vrijwel elk verschijnsel door de theorie verklaard kan worden. "Schema theory can explain nearly any set of findings which constitutes both a strength and a weakness of the theory" (Horton & Mills, 1984, p. 388). Dit is echter eerder een zwakte dan een sterkte van de theorie. Een oplossing hiervoor kan gevonden worden in een nauwere omschrijving van begrippen in de theorie, waarbij uiteraard bovenstaande opmerking van Hamaker (1980) niet vergeten mag worden.

Ondanks deze kritiek wordt als theoretisch uitgangspunt voor de bestudering van probleemoplossen in deze studie de schemabepijdering gekozen. De reden hiervoor is dat deze theorie goed gebruikt kan worden om onderzoeksvragen uit af te leiden en het vooralsnog ontbreken van een beter alternatief (zie bijvoorbeeld Kolers & Roediger, 1984). Onderstaand volgt nu een toepassing van het begrip schema op het oplossen van problemen.

Probleemschemata

Chi et al. (1981) geven aan dat de door de oplosser opgebouwde probleemrepresentatie niet alleen beïnvloed wordt door de informatie in de probleembeschrijving en de inhoud van de kennis van de oplosser (zie par. 1.3.3) maar ook en vooral door de *organisatie van die kennis*. Deze kennis van de oplosser kan in eenheden van met elkaar verbonden kenniselementen in het geheugen opgeslagen zijn (vergelijk bijvoorbeeld de chunks bij Larkin, 1979). Wanneer eenheden van met elkaar verbonden kenniselementen elk betrekking hebben op een categorie (of type) van problemen dan

is de cognitieve structuur van een oplosser opgebouwd volgens *probleemschemata*. Chi et al. (1981) verstaan onder een probleemschema een afgepaste hoeveelheid kenniselementen die sterk met elkaar samenhangt binnen de cognitieve structuur van een oplosser en die betrekking heeft op één categorie van problemen. Van een (adequaat) schema kan pas worden gesproken wanneer het schema de juiste vakinhoudelijke elementen bevat van de drie soorten kennis: situationele kennis, declaratieve kennis en procedurele kennis. In feite vormt een probleemschema als het ware een oplospakketje voor een bepaald type problemen. Strategische kennis is vaak binnen een vakgebied geldig over verschillende probleemttypen heen en hoeft dus niet in elk probleemschema te zijn opgenomen.

In paragraaf 1.3.2 werd een model van het oplossen van problemen gepresenteerd. Op basis van de theorievorming rond schemata kan dit model nu verder uitgewerkt worden. Deze modelmatige uitwerking wordt niet volledig empirisch onderbouwd; zoals eerder gezegd dient dit model om onderzoeksvragen af te leiden. In dat verband heeft de fasering van de probleemrepresentatie in het model, het zij herhaald, eerder een functioneel dan een temporeel karakter.

Een probleemoplosser met een kennisbasis die opgebouwd is uit adequate probleemschemata construeert een probleemrepresentatie binnen die context. Naar aanleiding van kenmerken van een probleem wordt dit probleem binnen een probleemschema geplaatst (initiële categorisatie), waarna binnen het geselecteerde probleemschema de constructie van een probleemrepresentatie plaatsvindt.

In eerste instantie is dit een representatie waarin nog geen informatie over de oplossing is opgenomen en die dus alleen de situatie op zich betreft. Deze eerste representatie wordt hierna aangeduid met *initiële representatie*. In dit proces wordt verondersteld een voortdurende wisselwerking plaats te vinden tussen de kennis uit het schema en de aangeboden informatie in de probleemstelling. Vanuit het geactiveerde schema ontstaan verwachtingen over gegevens in de probleembeschrijving (zie ook Thorndyke & Hayes-Roth, 1979). Deze verwachtingen gaat de oplosser dan vervolgens toetsen. Hij vindt dan zijn verwachtingen bevestigd of niet. Zo niet dan probeert hij het probleem te categoriseren binnen een ander probleemschema; zo ja dan bouwt hij (zolang hij geen incongruente informatie tegenkomt) verder aan zijn initiële probleemrepresentatie binnen het geselecteerde schema tot hij een volledige en coherente initiële representatie bereikt. Een vergelijking van dit proces met de afwisseling van top down en bottom up processen bij het verwerken van tekstuele informatie (zie Frijda, 1979) ligt voor de hand.

Volgens Braune & Foshay (1983) is er tijdens de constructie van een probleemrepresentatie een duidelijke intentionele component aan de kant van de oplosser

aanwezig. Zij zetten zich af tegen de interpretatie van perceptie zoals die binnen het behaviourisme plaatsvindt. Braune & Foshay (1983) baseren zich op Köhler wanneer zij opmerken dat mensen niet op aparte stimuli reageren maar op patronen van stimuli. In zekere zin bepaalt iemand zelf op welke stimuli hij zal reageren. Deze opvatting doet de auteurs probleemoplossers beschrijven als een 'dynamic problem solving process'. Dit proces vindt als volgt plaats: "Stated more completely, problem solving in this context means that when a person is confronted with a more or less familiar stimulus situation, he or she formulates objectives from the outcome of the situations. Based on these objectives the person attempts to use information from the environment. The person observes information in the environment selectively, based on his or her understanding of which information will help reach the goal....." (p. 128).

Wanneer iemand geconfronteerd wordt met een probleembeschrijving, dan bepaalt hij dus op grond van enige kritische kenmerken van die situatie een doel en past dan zijn perceptie van de beschrijving hierop aan. Op deze manier gaat hij de probleemsituatie begrijpen. Schemata kunnen volgens Braune & Foshay (1983) in het perceptuele domein twee functies vervullen:

- 1 Schemata enable a person to form expectations which tell him or her what to look for - what particular sensory data to select from the incoming information.
- 2 The person then employs schemata to know how to deal with this data - how to name, classify and understand them, and draw from them the inferences that give meaning to the perceived information (p. 132).

Empirisch bewijsmateriaal voor het gebruik van probleemschemata vroeg in het oplosproces wordt gegeven in een studie van Hinsley, Hayes & Simon (1977). Zij lieten zes personen elk acht redactiesommen in kleine stukjes lezen en na elk stukje werd gevraagd om te zeggen wat voor soort probleem het was, welke informatie er verder in de probleembeschrijving verwacht werd en welke vraag zij dachten dat gesteld zou worden. De resultaten van dit onderzoek geven aan dat personen al na het lezen van enkele woorden een probleembeschrijving kunnen typeren. Verder bleek dat wanneer de probleembeschrijving irrelevante informatie bevatte dit tot een verkeerde typering kon leiden en zo vervolgens tot een verkeerde interpretatie van de probleembeschrijving.

Tot nu toe werd slechts gesproken over de initiële representatie, de representatie van de probleembeschrijving op zich zonder oplosinformatie. Als de opbouw van deze initiële representatie en zo de categorisatie eenmaal heeft plaatsgevonden vindt de

opbouw van de *volledige representatie* (dus inclusief informatie over de oplossing) vervolgens plaats binnen de context van het geselecteerde schema. Een volledig en adequaat probleemschema bevat daarom niet alleen kennis van probleemsituaties maar ook declaratieve en procedurele kennis. Braune & Foshay (1983) beschrijven zo'n koppeling van probleem begripen en acties voor het bereiken van de oplossing binnen schemata als volgt: "If one pairs the stimulus processing with the appropriate responses, ranging from simple reflexes to complete strategies and action-plans, then one can speak of the development of schemata" (p. 134). Ook andere auteurs denken in deze richting. Schoenfeld & Herrmann (1982) voeren aan dat de correcte perceptie van een probleem de toegang tot een probleemschema kan verschaffen. Hierdoor krijgt de oplosser de beschikking over "a straightforward method of solution or a more or less automatic response" (p. 484). Ook Chase & Simon (1973) maken gewag van een koppeling tussen probleemperceptie en daarop volgende acties. Eén van hun conclusies uit een onderzoek dat betrekking had op de perceptie van schaakstellingen was dat: "a given board position generates a sequence of stereotypic moves". Perceptie (en initiële representatie) en actie gaan dus samen.

Chi et al. (1981) voeren empirische evidentie aan voor de mogelijke aanwezigheid van acties binnen (adequate) probleemschemata. Om enigszins zicht te krijgen op de inhoud van schemata legden Chi et al. (1981) twee experts en twee beginners 20 namen van problemen voor en vroegen hen drie minuten lang alles te vertellen wat ze bij elk label te binnen schoot. Beide groepen personen blijken dan kennis over de bij het label behorende probleemsituatie op zich te hebben. Het verschil is dat experts bij problemen procedures noemen die op de oplossing betrekking hebben terwijl dit bij beginners achterwege blijft.

Het proces zoals dat in deze paragraaf beschreven werd is een ideaaltypisch proces. Zo'n proces kan plaats vinden wanneer een oplosser beschikt over probleemschemata die de juiste informatie bevatten en bovendien volledig zijn, en wanneer de oplosser het juiste schema uit zijn geheugen selecteert. Deze probleemschemata zijn goed te vergelijken met de 'plans' zoals Martin (1984) die beschreef (zie eerder in deze paragraaf). Vaak wordt in de literatuur aan de term schema stilzwijgend een kwaliteit toegekend. Als gezegd wordt dat iemand een schema bezit dan wordt impliciet verondersteld dat dit juist en volledig is. In principe echter is de term schema 'kwaliteitsloos'. Het is geen kwestie van wel of geen schema hebben, maar eerder van goede en minder goede schemata of, om met Anderson (1984) te spreken, van 'well-articulated' and 'less well-articulated' schemata. Daarnaast kunnen schemata ook gewoon foute informatie bevatten. Norman (1983), in een artikel over 'mental models' (een met schemata verwant begrip), merkt op dat meer onderzoek plaats moet vinden naar "the messy, sloppy, incomplete, and indistinct structures that

people actually have" (p. 19). In het vervolg van dit proefschrift zullen daarom (als er mogelijk verwarring kan ontstaan) juiste en volledige schemata aangeduid worden met *adequate probleemschemata*.

Volgens het hier gepresenteerde model heeft de organisatie van kennis een duidelijke invloed op de probleemrepresentatie en zo op het oplosproces. Een organisatie volgens adequate probleemschemata werd als bevorderlijk voor probleemoplossen gezien. Tot slot van deze paragraaf twee kanttekeningen. Op de eerste plaats kan de categorisatie van een probleem binnen een probleemschema tot mispercepties leiden. Dit wordt geïllustreerd in een studie van Hinsley et al. (1977) waaruit bleek dat oplossters problemen waarin tegenstrijdigheden zaten, en die dus objectief gezien niet op te lossen waren, omvormden tot wel oplosbare problemen en deze vervolgens oplosten. Op de tweede plaats kan een cognitieve structuur bestaande uit probleemschemata bij bepaalde problemen 'counterproductive' werken. Informatie namelijk die wel in het geheugen zit maar die niet in een geselecteerd schema is ondergebracht, heeft minder kans in de representatie opgenomen te worden. Bij zeer slecht gedefinieerde problemen, waarbij voor de oplossing een beroep op de creativiteit van de oplosster gedaan wordt, is een cognitieve structuur volgens probleemschemata niet de meest geschikte.

Nu in paragraaf 1.3 een overzicht is gegeven van verschillende soorten kennis en ingegaan is op de organisatie van deze kennis, wordt in paragraaf 1.4 aandacht besteed aan empirisch onderzoek naar verschillen op deze aspecten van kennis, tussen personen van een verschillend competentienivo.

1.4 Expertisenivo en probleemoplossen

In de voorafgaande paragrafen werd vastgesteld welke soort problemen (E&M problemen zoals ze voorkomen op eerstejaars tentamens) en welke beïnvloedende factor (vakinhoudelijke kennis) onderzocht worden. In deze paragraaf zal een toelichting gegeven worden op de keuze van de proefpersonen in dit onderzoek.

Onderzoek dat zich bezighoudt met verschillen tussen personen bij het oplossen van problemen heeft meestal betrekking op verschillen tussen experts en beginners. In deze studie echter wordt voornamelijk onderzocht wat de verschillen zijn tussen *goede en zwakke beginnende probleemoplossers*. Voordat deze keuze nader toegelicht wordt zal een kort overzicht gegeven worden van resultaten van het onderzoek naar verschillen tussen beginners en experts in relatie tot het oplossen van problemen uit semantisch rijke domeinen. Na dit overzicht zullen enkele bezwaren tegen het expert-novice paradigma aan de orde komen.

1.4.1 Verschillen tussen experts en beginners

De hoeveelheid onderzoek naar verschillen tussen experts en beginners op het gebied van de natuurkunde is niet extreem groot. Chi, Glaser & Rees (1982) spreken dan ook van "a relatively small amount of work done in this area" (p. 16). In onderstaand overzicht zullen daarom aanvullingen gegeven worden vanuit andere semantisch rijke domeinen. Bij dit overzicht wordt de eerder in dit hoofdstuk aangebrachte indeling in kennissoorten aangehouden. Daarnaast wordt gekeken naar verschillen tussen experts en beginners wat betreft de organisatie van die verschillende kennissoorten. Op een aantal van de verschillen tussen experts en beginners zal in de volgende hoofdstukken dieper worden ingegaan. Waar dat het geval is, wordt het overzicht in deze paragraaf kort gehouden.

Verschillen in kennis van probleemsituaties

Chi et al. (1981) boden experts en beginners (beide groepen bestonden uit twee personen) 20 mechanica-vraagstukken aan en vroegen hen daarbij vakinhoudelijke principes te noemen die zij dachten voor de oplossing nodig te hebben. Daarnaast werd hen gevraagd om aan te geven welke kenmerken van de vraagstukken hen tot het noemen van deze oplosprincipes aanzette. Het meest opmerkelijke verschil tussen de experts en beginners is dan dat de experts vrij vaak kenmerken noemden die niet expliciet in de vraagstelling stonden maar die zij daaruit af moesten leiden. Chi et al. (1981) duiden deze kenmerken aan met 'second order features'. Beginners noemden vrijwel nooit dit soort kenmerken. Er bleek verder geen verschil tussen beide groepen in het noemen van expliciet in de vraagstelling opgenomen kenmerken, wel

was het zo dat voor experts interacties of relaties tussen die kenmerken een grotere rol leken te spelen. Jansweijer, Elshout & Wielinga (1985) vonden dat beginners niet beschikten over een lijstje van kenmerken die uit de probleembeschrijving geïsoleerd kunnen worden. Zo'n 'wensenlijstje' zoals Jansweijer et al. (1985) dat noemen kan bij het oplossen als cue voor de selectie van oplosprincipes fungeren.

Naast dit verschil tussen experts en beginners is er een aantal onderzoeken waarin aangetoond wordt dat experts in tegenstelling tot beginners beschikken over modellen van probleemsituaties. Dit wordt afgeleid uit de bevinding dat experts veel beter dan beginners in staat zijn een kort aangeboden probleembeschrijving te verwerken en te onthouden. De in deze onderzoeken betrokken domeinen betreffen veelal domeinen als schaken (De Groot, 1946; Chase & Simon, 1973), Go (Reitman, 1976) en Othello (Wolff, Mitchell & Frey, 1984). Ook anderssoortige, meer vakinhoudelijke, situaties zijn echter onderzocht. Het betreft hier computerprogramma's (McKeithen, Reitman, Rueter & Hirtle, 1981) en elektronische circuits (Egan & Schwartz, 1979). Voor een uitgebreidere bespreking van deze onderzoeken kan verwezen worden naar hoofdstuk 4.

verschillen in declaratieve kennis

Jansweijer et al. (1985) constateren dat het beginners vaak gewoonweg ontbreekt aan handige feitenkennis, zoals bijvoorbeeld het feit dat er geen temperaturen beneden de -273° Celcius bestaan. Volgens hen ontbreekt het beginners ook aan een goed inzicht in de begrippen uit het domein en ontberen zij de juiste samenhang tussen deze begrippen. In een serie onderzoeken van Shavelson (1972, 1978, 1974; Shavelson & Stanton, 1975; Shavelson & Geeslin, 1975; Geeslin & Shavelson, 1975) werd met behulp van verschillende technieken de organisatie van vakinhoudelijke concepten in het geheugen van studenten gemeten. Deze organisatie werd vervolgens vergeleken met een 'expert' organisatie van deze concepten. De expert organisatie werd gemeten met behulp van een analyse van studieboeken of door erkende experts met dezelfde technieken als de studenten te ondervragen. De resultaten van deze onderzoeken wijzen uit dat beginners voordat zij een cursus gevolgd hebben een sterk van de expert afwijkende organisatie van concepten hebben en dat deze organisatie gedurende een cursus over het onderwerp steeds dichter bij die van de experts komt te liggen. In hoofdstuk 3 wordt dieper ingegaan op de onderzoeken van Shavelson en op aanverwante onderzoeken.

Een onderzoek dat ook betrekking had op declaratieve kennis en wel op verschillen in de organisatie binnen deze kennissoort tussen experts en beginners is het eerder genoemde onderzoek van Larkin (1979, zie paragraaf 1.3.4). Uit dit onderzoek bleek dat een expert 'chunks' van vergelijkingen bezat, dat wil zeggen dat deze expert vergelijkingen die sterk met elkaar te maken hadden nauw verbonden met el-

kaar in zijn geheugen had opgeslagen zodat bij de selectie van een van de vergelijkingen uit de chunk de andere automatisch meekwamen. Bij een beginner bleek deze organisatievorm niet op te treden, deze had alle vergelijkingen losstaand van elkaar opgeslagen. Overigens konden Chi et al. (1982) in een replicatie van dit onderzoek deze resultaten niet bevestigen.

Een andere serie onderzoeken met betrekking tot declaratieve kennis is het onderzoek naar *misconceptions*. Beginners (en dan van een uiteenlopend nivo van scholieren tot studenten) blijken op velerlei terreinen vrij fundamentele misvattingen te bezitten over concepten uit de vakinhoud. Deze *misconceptions* kunnen het hen moeilijk maken problemen op te lossen maar ook tot moeilijkheden leiden bij het leren van nieuwe leerstof. Alhoewel deze laatste serie onderzoeken niet direct gericht is op verschillen tussen experts en beginners mag toch verondersteld worden dat bij experts deze *misconceptions* afwezig zullen zijn.

verschillen in procedurele kennis

Volgens Anderson (1982) verkeert een beginner nog in een 'declaratief stadium' van kennis. In dit stadium heeft de beginner feitelijke kennis van de vakinhoud en om een probleem op te lossen past hij *algemene procedures* (redeneertechnieken) toe op deze declaratieve kennisbasis. Het voordeel van deze manier van kennisopslag is dat ze zeer wendbaar en algemeen toepasbaar is. De grote nadelen van dit stadium zijn echter dat deze manier van werken tijdrovend is, dat de capaciteit van het werkgeheugen overschreden kan worden en dat de kans op falen prominent aanwezig is. Anderson (1982) geeft enkele voorbeelden van beginners die op deze manier geometrische bewijsproblemen aanpakken. Bij toenemende oefening en dus groter wordende expertise verandert de vorm van de kennisbasis en komt men in het procedurele stadium. Anderson (1982) noemt het proces van overgang 'knowledge compilation' en beschrijft enkele subprocessen die plaatsvinden binnen de overgang van het declaratieve stadium naar het procedurele stadium. Hij beschrijft dan ook nog enkele mechanismen waarmee de procedures (als-dan regels) die men in het procedurele stadium bezit verder verfijnd en gespecialiseerd worden (zie ook Mettes, 1984). Dit alles illustreert hij met voorbeelden uit het alledaagse leven (autorijden, het draaien van een telefoonnummer) en met eigen onderzoek naar het oplossen van geometrische bewijsproblemen. Een expert beschikt uiteindelijk over een uitgebreid scala van procedures of zoals Anderson et al. (1981) het met betrekking tot bewijsproblemen opmerken: "experts in geometry proof generation simply encoded many special case rules" (p. 228).

verschillen in strategische kennis

Het meeste onderzoek naar verschillen tussen experts en beginners heeft betrekking

op het gebruik van strategieën bij het oplossen. De fasen die beginners en experts in het oplosproces gebruiken worden tegen elkaar afgezet. Strikt genomen wordt hiermee uiteraard niet de kennis van strategieën onderzocht, maar eerder hoe deze kennis functioneert in een reële oplossituatie.

Een van de meest opvallende onderdelen van het oplosproces van experts is dat zij in een vroeg stadium van het oplosproces een 'kwalitatieve analyse' maken. Dit houdt in dat de experts voordat zij feitelijk vergelijkingen (formules) op gaan stellen en gaan rekenen de aangeboden probleembeschrijving globaal beschouwen (dus zonder fixatie op afzonderlijke onderdelen) en de situatie 'vertalen' in een meer abstracte vakinhoudelijke voorstelling (Larkin, 1979; 1981a; 1981b; Larkin, McDermott, Simon & Simon, 1980). Dat blijkt bijvoorbeeld hieruit dat experts altijd (ook wanneer die reeds gegeven is) een schematische voorstelling van de situatie produceren (Larkin, 1976). De kwalitatieve analyse heeft als voordeel dat deze een eenvoudig te onthouden voorstelling van het gegeven probleem vormt waar de later uit te voeren kwantitatieve uitwerking tegen afgezet kan worden. De kwalitatieve analyse functioneert als een soort 'gids' waardoor er minder fouten gemaakt worden (Larkin, 1979). Jansweijer et al. (1985) onderzochten probleemoplossen bij gevorderde probleemoplossers. Zij constateerden dat maar liefst 46% van de uitingen in tijdens het oplossen opgenomen protocollen, op de analyse van het probleem betrekking hadden (overigens vermeldten zij geen percentage voor beginners zodat een vergelijking niet mogelijk is).

Beginners duiken in tegenstelling tot experts vrijwel onmiddellijk in het rekenwerk zonder zich te realiseren waar ze naar toe willen en verzanden dan ook vaak (Larkin, 1976; Van Streun, 1982). Volgens Elshout (1983) leidt dit gedrag er toe dat de beginner tijdens het oplosproces herhaaldelijk op zogenaamde impasses stuit (hijs komt er niet meer uit) en dan zijn oplossing moet gaan 'repareren'. Schoenfeld (1983) constateerde dat experts bij voor hen heel simpele problemen ook geneigd zijn met een korte analyse te volstaan. Dit betreft dan problemen waar de expert een 'kant en klaar' schema voor heeft. Pas bij moeilijke problemen gaat de expert meer op zijn oplosproces letten: "And it is precisely when the expert's problem solving schemata (or productions) do not work well that the managerial skills serve to constitute the expertise." (p. 370).

Een tweede in het oog lopend verschil in strategie tussen experts en beginners (zie bijvoorbeeld Sweller, Mawer & Ward, 1983) is dat experts er toe neigen te werken vanuit de gegevens (working forward) en dat beginners werken vanuit het gevraagde (working backward). Beginners starten met een formule waarin een variabele uit de vraagstelling voorkomt en substitueren daarin bekende waarden. Zijn er dan nog variabelen waarvoor zij geen waarde hebben dan nemen zij een formule waarin die variabele voorkomt en herhalen deze procedure dan weer. Bij de experts

wordt het oplosproces klaarblijkelijk geleid door de zekerheid dat zij weten dat zij toch wel op het gevraagde uitkomen. Gelet op het boven vermelde door Schoenfeld (1983) geconstateerde onderscheid in gebruik van strategie door experts bij simpele en complexe problemen is het niet verwonderlijk dat het voorwaarts werken bij experts slechts geconstateerd kan worden wanneer het voor hen simpele problemen betreft. Bij voor hen moeilijkere problemen schakelen zij over op een afwisseling van voorwaarts en achterwaarts werken, zgn. 'means-end-analysis' (Larkin et al., 1980).

verschillen in organisatie van kennis

Bij de bespreking van verschillen tussen experts en beginners onder de verschillende soorten kennis werd een enkele maal geconstateerd dat er verschillen in organisatie van kennis bestonden binnen één kennissoort. Er is echter ook onderzoek naar verschillen tussen experts en beginners in organisatie van kennis uit verschillende kennissoorten.

Chi et al. (1981) zetten 24 mechanica problemen op kaartjes en vroegen acht experts en acht beginners deze problemen in groepen te sorteren op gelijkenis in oplossing. Daarna werd hen gevraagd een verklaring voor hun sortering te geven. Experts en beginners blijken dan volstrekt verschillende indelingen te maken. Beginners gaan voor hun sortering voor het grootste deel af op uiterlijke kenmerken van de probleembeschrijving. Onder uiterlijke kenmerken wordt verstaan de aanwezigheid van bepaalde woorden in de probleembeschrijving (b.v. wrijving) of de visuele configuratie (blok op hellend vlak). Experts daarentegen bleken hun sortering te baseren op de natuurkundige principes die voor de oplossing nodig waren. Deze constatering werd nogeens geschraagd door de namen die de experts en beginners aan de door hen gesorteerde groepen gaven.

Om deze resultaten te kunnen bevestigen voerden Chi et al. (1981) een tweede soortgelijke studie uit. Deze keer werden er 20 problemen uit de mechanica op een zodanige wijze ontworpen dat er een kruising van uiterlijke kenmerken en oplosprincipes aanwezig was. Dat wil zeggen dat er problemen waren met dezelfde uiterlijke structuur en een verschillend oplosprincipe en andersom. De sortering vond plaats door een beginner (een student die net één cursus in mechanica had afgelegd), twee experts (een graduate student en een hoogleraar natuurkunde) en een zogenaamde 'intermediate' (een vierdejaars 'undergraduate' student). Wederom bleken de experts een sortering te maken die gebaseerd was op de oplosprincipes van de problemen en bleek dat de beginner zijn sortering voornamelijk op uiterlijke kenmerken baseerde. De intermediate nam bij zijn sortering (zoals verwacht was) een tussenpositie in. Zijn sortering was gebaseerd op oplosprincipes, maar binnen groepen problemen met hetzelfde oplosprincipe werd een verdere indeling op grond van ui-

terlijke kenmerken gemaakt.

Chi et al. (1981) leidden uit deze resultaten af dat experts een andere cognitieve structuur bezitten dan beginners. Volgens hen is de cognitieve structuur van experts opgebouwd uit categorieën of typen problemen, de zogenaamde probleemschemata (voor een uitgebreidere beschrijving van een dergelijke cognitieve structuur zie par. 1.3.4). Een adequaat probleemschema bevat naast kennis van probleemsituaties ook elementen van declaratieve en procedurele kennis die geldig zijn voor dat specifieke type problemen. Als een expert een probleembeschrijving op grond van één type kennis (met name kennis van probleemsituaties) binnen zo'n probleemschema categoriseert dan krijgt hij daarmee tevens de beschikking over andere soorten kennis: de relevante declaratieve en procedurele kennis. Als beginners een dergelijke cognitieve structuur ontbeert dan kan dit het verschil in sortering van problemen tussen experts en beginners verklaren.

Om deze hypothese verder te onderzoeken lieten Chi et al. (1981) twee experts en twee beginners elk 20 labels van categorieën van problemen zien en vroegen hen alles te noemen wat zij dachten dat van nut was bij de oplossing (zie voor dit onderzoek ook par. 1.3.4). Experts en beginners blijken dan ongeveer even vaak kenmerken van probleemsituaties te noemen. Experts blijken echter veel vaker dan beginners expliciete procedures (als-dan relaties) te noemen. Chi et al. (1981) leidden hieruit af dat experts in hun probleemschemata expliciete oplosprocedures hebben opgenomen, terwijl die koppeling tussen probleemkenmerken en oplosprocedures bij beginners afwezig is.

Op alle hier onderscheiden kennissoorten en de organisatie hiertussen werden verschillen tussen experts en beginners geconstateerd. Deze verschillen staan niet altijd los van elkaar. Een cognitieve structuur die is opgebouwd volgens probleemschemata zal het de oplosser bijvoorbeeld eenvoudiger maken de strategie van 'working forward' te hanteren.

De hier geconstateerde verschillen tussen experts en beginners zullen in deze dissertatie verder een rol spelen als inspiratiebron voor onderzoek naar verschillen tussen beginners onderling.

1.4.2 Bezwaren tegen het expert-beginner paradigma

In vakinhoudelijke domeinen bestaan er ontegenzeggelijk verschillen in competentie tussen personen. Niemand kan ontkennen dat een hoogleraar met vele jaren ervaring in een bepaald vak competentier is dan de eerstejaarsstudent. In de vorige paragraaf werd onderzoek aangehaald waaruit een verband tussen deze competentie en het oplossen van problemen bleek. Sterker nog: de mate waarin iemand in staat is pro-

blenen op te lossen wordt veelal als een maat voor deze competentie beschouwd.

De onderzoeken die in de vorige paragraaf genoemd werden, werden uitgevoerd volgens het expert-beginner paradigma. Erkende experts werden vergeleken met beginners. Tegen deze onderzoeken zijn enkele bezwaren in te brengen die niet direct dat paradigma betreffen. Dit betreft het vaak kleine aantal proefpersonen en het feit dat bij de beoordeling van de protocollen de beoordelaars veelal op de hoogte waren van het expertisenivo van diegene van wie het protocol beoordeeld werd. Bij data die nog door een beoordelaar geïnterpreteerd moeten worden, is het noodzaak er zorg voor te dragen dat de beoordelaar onbekend is met essentiële kenmerken van diegene van wie hij de data beoordeelt om zo een beïnvloeding van zijn beoordeling te vermijden. Dit geldt in nog sterkere mate wanneer er geen betrouwbaarheidsmetingen van de beoordeling worden uitgevoerd. Er zijn bovendien twee bezwaren die direct het expert-beginner paradigma betreffen. Het eerste bezwaar is dat het nivo van expertise waarop van beginners en experts gesproken wordt nogal wisselend is. Het tweede bezwaar is dat het niet terecht lijkt experts en beginners altijd als homogene groepen te beschouwen. Het eerst bezwaar zal hieronder behandeld worden, het tweede wordt in paragraaf 1.4.3 toegelicht.

Wie is een expert en wie is een beginner? Onderzoekers verschillen nogal eens van mening over het nivo waarop iemand een expert of een beginner genoemd kan worden.

De minste verschillen ontstaan bij de definiëring van de expert. Als experts worden veelal personen met voltooide opleiding (bv. een academische graad) in een vakgebied genomen en dan vaak nog personen die jarenlange ervaring hebben op een deelgebied van dat vak. Dat leidt er vaak toe dat docenten van een vak als experts in een onderzoek fungeren. Soms echter worden studenten die een cursus met succes gevolgd hebben als een soort experts, of in ieder geval gevorderden, beschouwd (Jansweijer et al., 1985).

Grotere verschillen ontstaan bij het vaststellen van het expertisenivo waarop van beginners gesproken kan worden. In het onderzoek van De Groot (1946) waarin schakers hardop dachten terwijl zij een zet voorbereidden en naar de perceptie van schaakstellingen waren de beginners (zwakke) schakers uit de hoofdklasse tot de tweede klasse. Zij werden in deze studie vergeleken met experts in de vorm van grootmeesters en meesters. Beginners in dit onderzoek (De Groot noemt hen overigens 'ongeoefende spelers') waren dus personen die zeker een expertise in het domein verworven hadden. Dijkstra et al. (1983) vergeleken experts en beginners bij de interpretatie van tandheelkundige röntgenfoto's. De beginners in dat onderzoek waren gevorderde studenten, ook personen dus met een verworven expertise. Beginners kunnen ook personen zijn die aan het begin staan van een universitaire of school-

carrière en die een cursus uit het onderzochte domein hebben doorlopen. Chi et al. (1981) hadden als beginners in een van hun onderzoeken 'undergraduates' die een semester onderwijs hadden gevolgd in het vak waarop het onderzoek betrekking had (mechanica). In een ander onderzoek hadden zij studenten die het vak gevolgd hadden en geslaagd waren met een 'A grade' als proefpersonen. Ook bij Larkin (1979) fungeerden studenten met een A grade in het onderzochte domein als beginners. De beginners uit het onderzoek van Larkin (1979) en Chi et al. (1981) zijn dus goed vergelijkbaar met de gevorderden uit het onderzoek van Jansweijer et al. (1985).

In een groot deel van de studies echter worden beginners opgevat als personen die geen enkele of bijzonder weinig kennis van het onderzochte vakgebied hebben. Egan & Schwartz (1979) bijvoorbeeld, die onderzoek deden naar kennis van elektronische circuits, schrijven dat de beginners in hun onderzoek werden geselecteerd "... on the basis of having little knowledge of electronics" (p. 154). Verder schrijven zij: "A typical novice subject could identify some of the circuit symbols by name, but none of the novices could identify all the symbols" (p. 152). Deze beginners vergelijken zij met personen die soms al meer dan 25 jaar ervaring in een vak hadden. In een onderzoek van Mourant & Rockwell (1972) waarin het visuele gedrag van automobilisten werd bestudeerd was de selectie van beginners gebaseerd op "... an almost complete lack of driving experience" (p. 326). Deze beginners kregen vervolgens wel rijinstructies maar deze ervaring was toch marginaal ten opzichte van de ervaren automobilisten uit het onderzoek. Ook de proefpersonen uit de in de vorige paragraaf genoemde onderzoeken van Shavelson waren voordat zij een cursus volgden 'onwetenden'.

Beginners worden dus op vele nivo's gedefinieerd. Uit onderzoekstechnisch oogpunt is het prettig 'onwetenden' als beginners te hebben, significante verschillen met experts zijn dan snel gevonden. Als beginners opgevat worden als personen die geen enkele kennis van het domein onder studie bezitten, dan vormen zij echter in feite geen object van onderzoek meer, maar fungeren zij als een basisnivo van menselijk presteren. Om zinvol over beginners en probleemoplossen te spreken moeten zij tenminste enige kennis van en ervaring in het onderzochte kennisdomein bezitten (zie ook Larkin, 1979).

Schoenfeld (1983) snijdt een ander probleem aan met betrekking tot het nivo waarop experts en beginners gedefinieerd worden. Expert zijn wordt gerelateerd aan (onderdelen van) vakgebieden. Een expert in de scheikunde kan een beginner in een natuurkundevak zijn. Toch is zo'n beginner niet goed vergelijkbaar met een 'naïve college freshman' of 'nonexpert problem solving novice' zoals Schoenfeld (1983) dat noemt. Deze verschillen tussen beginners zijn volgens Schoenfeld toe te schrijven aan het feit dat de beginner die elders expert is een deel van zijn strategische kennis mee kan nemen naar het vakgebied waar hij beginner is.

In navolging van Chi et al. (1981) en ook Messick (1984) worden in dit proefschrift drie nivo's van expertise onderscheiden: *beginners*, *intermediates* en *experts*. De grenzen tussen die groepen (waarbij een beperking tot het universitair nivo gemaakt wordt) zijn ongeveer als volgt te trekken. Beginners zijn (eerstejaars)-studenten die een onderwijsonderdeel (een bepaald vak) afgesloten hebben en zich hebben voorbereid op een tentamen. Het is niet zinvol beginners op een lager nivo te definiëren, dan zou het beter zijn te spreken over 'niet-weters'. Daarmee is uiteraard niet gezegd dat deze niet-weters geheel geen (bijvoorbeeld natuurkundige) kennis bezitten, maar wordt slechts bedoeld dat ze die kennis missen op een bepaald deel van het vakgebied. Intermediates zijn gevorderde studenten die naast een eerste confrontatie met een bepaald studieonderdeel ook verderop in hun studie met dit onderdeel te maken hebben gehad, hetzij op een meer diepgaande of toegepaste manier of in relatie tot een ander vak. Experts zijn afgestudeerden. Twee kanttekeningen kunnen hierbij gemaakt worden. Op de eerste plaats zijn de grenzen tussen de drie expertisenivo's niet altijd even scherp te trekken. Een indeling als de hier geschetste schept echter wel enige duidelijkheid. Op de tweede plaats kunnen er uiteraard verdere gradaties aangebracht worden. Bij experts bijvoorbeeld kan het nuttig zijn een onderscheid te maken tussen een pas afgestudeerde en iemand die al jarenlang het betreffende vak doceert of in de praktijk toepast.

1.4.3 Verschillen tussen beginners

Het tweede probleem met het expert-novice paradigma is dat experts en beginners daarin als homogene groepen worden behandeld. Zeer voorzichtig begint echter het inzicht te groeien dat verschillen tussen experts in het oplossen van problemen bestaan en dat die verschillen een interessant onderwerp van studie zijn. Dit besef doet zich vooral voor wanneer het het oplossen van slecht gedefinieerde problemen betreft (Crombag, 1984).

Of er verschillen tussen beginners bestaan hangt samen met het als eerste geconstateerde probleem van het expert-beginner paradigma, het nivo waarop een beginner gedefinieerd wordt. Als beginners worden gedefinieerd als onwetenden in een vakgebied dan is het voor de hand liggend om hen als homogene groep te beschouwen. Echter, beginners gedefinieerd op een zinvoller nivo, dus als personen die enig inzicht in een vakgebied verworven hebben, zullen al snel onderlinge verschillen vertonen. Onderzoek dat gericht is op het aantonen van deze verschillen is echter bijzonder schaars.

Een onderzoek dat specifiek op verschillen tussen beginnende probleemoplossers gericht was, wordt gerapporteerd door Finegold & Mass (1985). Zij gingen na of er

verschillen tussen goede en zwakke beginnende probleemoplossers bestond, met betrekking tot strategiegebruik. Deelnemers aan het onderzoek moesten vier problemen van een gevorderd natuurkundig nivo hardop denkend oplossen. Finegold & Mass (1985) verzekerden zich er van dat alle proefpersonen kennis hadden van 'relevant facts, concepts, laws, constants and formulae' (p. 60). Tussen goede en zwakke probleemoplossers was er dus geen verschil in hoeveelheid declaratieve kennis. Finegold & Mass constateerden onder andere dat goede beginners hun oplossingen uitgebreider en in meer detail planden, voor zij dit plan uit gingen voeren, dan zwakke beginners. Zij spendeerden dan ook meer tijd aan de analyse en planning van een probleem dan zwakke studenten.

Silver (1979) voerde een onderzoek uit dat sterk overeenkomt met de door Chi et al. (1981) uitgevoerde sorteeronderzoeken. Silver (1979) liet (12-14 jarigen) 24 verbale algebraïsche probleembeschrijvingen sorteren op 'mathematische' gelijkenis. Silver (1979) onderscheidde bij de sortering twee (hoofd)dimensies: mathematische structuur en contextuele details (de diepte- en oppervlaktedimensies van Chi et al. (1981) lijken hier bijzonder op). Silver (1979) constateerde dat de sortering van goede probleemoplossers meer gebaseerd was op de mathematische structuur, terwijl de zwakke oplossers meer aandacht aan contextuele details besteedden. Silver (1979) vond dus tussen goede en zwakke beginnende probleemoplossers hetzelfde verschil als Chi et al. (1981) vonden tussen beginners en experts.

In een andere studie kon Silver (1981) aantonen dat goede probleemoplossers meer gericht zijn op de structuur van een probleemstelling (en de oplossing) dan zwakke oplossers. Studenten (seventh-grade high school students) moesten vier verbale algebraïsche problemen oplossen. Op vier momenten daarna (variërend van onmiddellijk tot vier weken erna) werd hen gevraagd wat zij nog van het probleem en de oplossing wisten. Goede oplossers blijken dan zowel de structuur als de details van het probleem te onthouden, zwakke oplossers slechts de details. Hieruit kan afgeleid worden dat beginnende oplossers kunnen verschillen in kennis van probleemsituaties. Dit wordt nog eens onderstreept door een studie van McKeithen et al. (1981). Zij lieten proefpersonen een computerprogramma dat in ALGOL W geschreven was kort bestuderen en vervolgens reconstrueren. Daarbij onderscheidde zij bij hun proefpersonen drie expertisenivo's: personen met meer dan 2000 uur algemene programmeerervaring en gemiddeld 400 uur ervaring in programmeren met ALGOL W (experts), personen die op het punt stonden hun eerste ALGOL W cursus te gaan volgen (beginners, in dit proefschrift dus niet-weters genoemd), en personen die deze cursus voltooid hadden (deze noemden zij 'intermediates', in dit proefschrift wordt dat nivo van expertise aangeduid met 'beginners'). Deze intermediates bleken niet alleen qua

prestatie (de reconstructie van de programma's) tussen de beginners en de experts in te zitten maar juist in deze groep bleken grote verschillen in prestatie voor te komen.

Uiteindelijk doel van de studie die dit proefschrift vormt is inzicht verkrijgen in de inhoud en organisatie van een kennisbasis die geschikt is om problemen op te lossen. Dit doel wordt voornamelijk nagestreefd door te zoeken naar kennisverschillen tussen goede en zwakke beginnende studenten. Dat er grote individuele verschillen bestaan in probleemoplosprestaties tussen beginners is evident. Resultaten van tentamens laten een grote variatie in toegekende cijfers zien. Meer inzicht in verschillen in kennis tussen beginners kan een bijdrage leveren aan de verklaring van deze verschillen in prestatie. Een beter inzicht in verschillen in kennis tussen beginners die ten grondslag liggen aan verschillen in probleemoplosprestatie, kan tevens een aan-grijpingspunt voor de inrichting van onderwijs vormen. Onderzoek op dit terrein geeft namelijk aan waar het zwakke oplosers ten opzichte van goede aan ontbreekt. Instructiemaatregelen kunnen dan doelgericht ontworpen worden om deze gebreken op te heffen. In feite worden goede oplosers dan gebruikt als model voor zwakke oplosers.

1.5 Onderzoeksvragen

In de hoofdstukken 2, 3, en 4 wordt telkens verslag gedaan van een onderzoek. In elk onderzoek staat één aspect van de kennis van beginnende studenten centraal en wordt getracht het belang van dat aspect van kennis voor succes bij het oplossen van problemen vast te stellen.

Het onderwerp van hoofdstuk 2 is *kennis van strategie*. Regelmatig wordt vastgesteld dat het beginnende studenten ontbreekt aan een goede strategie. Zij zouden geen analyse van het probleem maken en zich onverhoeds op het rekenwerk storten (Elshout, 1984). Finegold & Mass (1985) vonden dat dit vooral gold voor zwakke probleemoplossers. In het onderzoek uit hoofdstuk 2 werd daarom in een onderwijsexperiment getracht beginnende studenten een goede strategie voor probleemoplossen aan te leren. Een aantal studenten kreeg een extra instructie in het hanteren van een strategie waarna (via de analyse van hardopdenk protocollen die bij toetsopgaven waren opgenomen) nagegaan werd of zij deze strategie inderdaad gingen hanteren en of zij zo tot een prestatieverbetering konden komen. Daarnaast werd het belang van strategiegebruik ingeschat door na te gaan of bij goede en foute oplossingen door beginnende studenten gebruik wordt gemaakt van verschillende strategieën. Om deze vraag te kunnen beantwoorden losten studenten vraagstukken hardop denkend op. Oplossingen van problemen die goed waren gemaakt werden op het punt van strategiegebruik vergeleken met foutieve oplossingen.

Steeds meer onderzoek toont aan dat het niet de *hoeveelheid* kennis is die bepalend is voor de mate van succes bij probleemoplossen maar de *organisatie* van de kennis (Silver, 1979; Chi, et al. 1981). Het in hoofdstuk 3 beschreven onderzoek werd uitgevoerd om de relatie vast te stellen tussen de organisatie van kennis van beginnende studenten en het vermogen problemen op te lossen. Het betrof hier de organisatie van kennis van probleemsituaties, declaratieve kennis en procedurele kennis. Door middel van een kaartsorteermethode werd bepaald in hoeverre de cognitieve structuur van studenten ingericht was volgens probleemschemata. De op deze manier per student vastgestelde maat van 'probleemgerichtheid' van de cognitieve structuur werd voor de gehele groep studenten gecorreleerd met hun tentamencijfers.

Sinds het onderzoek van De Groot (1946) staat de *kennis (of perceptie) van probleemsituaties* duidelijk in de belangstelling van onderzoekers. Onderzoek van McKeithen et al. (1981) geeft aanwijzingen dat hierin ook verschillen tussen beginners bestaan. Het laatste, in hoofdstuk 4 beschreven onderzoek, werd uitgevoerd om

verschillen in kennis van probleemsituaties tussen goede en zwakke beginnende studenten vast te stellen. Studenten kregen een aantal probleembeschrijvingen zeer kort ter bestudering aangeboden, waarna hen gevraagd werd een reconstructie van deze probleembeschrijving te geven.

2 Strategiegebruik bij het oplossen van problemen

2.1 Inleiding

Reif et al. (1976) constateerden dat studenten bij het oplossen van natuurkundige problemen geen systematiek hanteerden. Studenten benaderden problemen volgens deze auteurs op een inefficiënte manier en handelden grotendeels op goed geluk. Zij concluderen dan: "Thus, even when students know all the relevant facts and principles necessary for the solution of a problem they may be unable to solve it because they lack any systematic strategy for guiding them to apply such facts and principles" (p. 216).

Om te proberen hier verandering in te brengen onderwezen zij een aantal studenten in een simpele probleemoplosstrategie. Deze strategie hield in dat het oplosproces werd uitgevoerd in vier opeenvolgende fasen. Dit waren de fasen:

- | | |
|----------------|--|
| beschrijving: | het ontwikkelen van een beeld van de gegeven situatie en het gevraagde |
| planning: | het selecteren van fundamentele relaties en het met behulp van deze plannen van de oplossing |
| implementatie: | het uitvoeren van de plannen |
| checken: | het nagaan van elke stap uit de oplossing en het op zinvolheid toetsen van de uiteindelijke oplossing. |

Reif et al. (1976) boden studenten deze strategie aan *naast* het reguliere onderwijs. Eerst legden zij de strategie aan de studenten uit, demonstreerden deze vervolgens aan de hand van een aantal problemen, en gaven de studenten daarna oefening en feedback bij een aantal vraagstukken. Zij constateerden, onder andere aan de hand van een tentatieve analyse van protocollen van problemen oplossende studenten, dat de studenten die de extra instructie gevolgd hadden niet direct in het rekenwerk doken maar eerst diagrammen maakten, en bovendien meer gebruik maakten van planning. Deze 'experimentele' studenten behaalden betere resultaten dan een controlegroep die alleen de reguliere natuurkundecursus volgde.

Een belangrijke Nederlandse studie over het oplossen van natuurkundige problemen wordt gevormd door de dissertatie van Mettes & Pilot (1980). Zij ontwikkelden een (wenselijk) model voor het oplossen van natuurkundige problemen. Dit model noem-

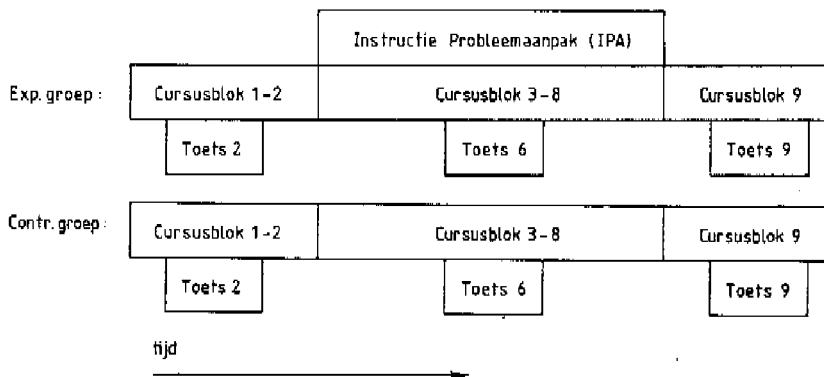
den zij het 'gewenst handlingsverloop' (GHV). In het GHV wordt het oplosproces in een aantal fasen opgedeeld die in een vaste sequentie zijn geplaatst. Binnen elke fase worden een aantal (vak-)specifieke detailleringen, gewenste denkhandelingen, gegeven. Eén aspect van het GHV is dus dat het een globale strategie omvat. De grote lijn van deze strategie vertoont veel overeenkomsten met de simpele strategie die Reif et al. (1976) gebruikten.

Mettes & Pilot (1980) ontwierpen een cursus waarin studenten geleerd werd problemen volgens dit GHV op te lossen. De cursus werd ingericht volgens de leertheorie van Gal'perin aangevuld met het principe van mastery learning. Alle onderdelen van de cursus werden nauwgezet op elkaar afgestemd. Invoering van deze nieuwe cursus bleek een gunstige invloed op de prestaties van studenten te hebben. De ideeën van Mettes & Pilot vinden in het onderwijsveld veel navolging.

De cursus uit het onderzoek van Mettes & Pilot (1980) ontwikkelden zij voor het vak thermodynamica voor eerstejaars TH studenten. Dit nivo sluit goed aan op de vraagstukken en studenten die in dit proefschrift centraal staan. Het ontwikkelen van een geheel nieuwe cursus vergt echter veel constructiearbeid. Bovendien betekent de invoering ervan het afleggen van een lange weg met ongetwijfeld vele obstakels. De resultaten van het onderzoek van Reif et al. (1976) geven echter aan dat ook een minder arbeidsintensieve ingreep dan de constructie van een geheel nieuwe cursus vruchten af kan werpen. Het in dit hoofdstuk beschreven onderzoek werd daarom opgezet met de vraagstelling of studenten die naast het reguliere onderwijs een extra instructie ontvingen in een op basis van het GHV ontworpen globale strategie, problemen meer conform deze strategie gingen oplossen en diensgevolge betere resultaten behaalden.

2.2 Opzet en uitvoering van het onderzoek

Om bovenstaande vraagstelling te kunnen beantwoorden werd aan een groep eerstejaars studenten Electrotechniek die deelnam aan een cursus Electriciteit en Magnetisme (E&M I), een extra instructie (Instructie Probleemaanpak, IPA) gegeven waarin een strategie onderwezen werd. Een andere groep studenten die deelnam aan de cursus E&M I kreeg geen extra instructie. Deze groep fungeerde als controle-groep. De cursus E&M I is opgebouwd uit 9 blokken die elk afgesloten worden met een toets. Data werden verkregen door beide groepen toetsen uit de cursus hardop denkend te laten afleggen en hier protocollen van op te nemen. Dit gebeurde bij drie toetsen. Eén keer voor de extra instructie (de toets van blok 2 uit de cursus), een keer terwijl de extra instructie nog gegeven werd (blok 6) en een keer erna (blok 9). De onderzoeksopzet is schematisch weergegeven in Figuur 2.1.



Figuur 2.1. Schematische weergave van de onderzoeksopzet (de aangegeven toetsen werden hardop denkend afgelegd).

De verschillende elementen uit de onderzoeksopzet zullen nu afzonderlijk toegelicht worden.

2.2.1 De SPS-cursus E&M I

De SPS (Self Paced Study system) cursus E&M I is een geïndividualiseerde cursus. Frequentie terugkoppeling is een van de principes waarop deze cursus gebaseerd is. De inhoud is daartoe onderverdeeld in 9 eenheden, blokken genoemd, elk afgesloten met een toets. De student is, binnen bepaalde grenzen, vrij om zelf te bepalen wan-

neer hij of zij de toets aflegt. Dit is mogelijk dankzij de geautomatiseerde verwerking van de toetsresultaten.

Het onderwijs in de SPS-cursus bestaat uit klassieke instructies in de eerste maanden, speciaal gericht op de nodige wiskundige vaardigheden. Daarnaast worden vrageninstructies gegeven en spreekuren gehouden. In de vrageninstructies worden vragen die studenten hebben naar aanleiding van opgaven behandeld. De spreekuren bieden mogelijkheden voor individuele studenten om vragen over afgelegde toetsen te stellen. Dit gebeurt in de stijl van: 'opgave nr. 3 was fout, maar ik begrijp niet waarom'. De docent probeert dan in een kort gesprek (8-15 minuten per student), samen met de student de oorzaak van de fout te achterhalen. De nominale studielast van deze cursus is 100 uur.

2.2.2 De toetsen

Voor elk van de blokken uit de SPS-cursus bestaat een verzameling van toets-opgaven, waaruit een computer volgens gegeven regels voor iedere student een toets samenstelt die, afhankelijk van het blok, bestaat uit 4 tot 7 opgaven. Er kunnen 4 typen vragen onderscheiden worden:

- a. Het eerste type vragen zijn gewone meerkeuzevragen die zo geconstrueerd zijn dat in een probleemsituatie een of andere grootheid berekend moet worden, voordat het mogelijk is om uit de alternatieven het goede te kiezen. Ze vereisen dus de volledige oplossing van een probleem. Deze vragen hebben 4 tot 9 alternatieven.
- b. Het tweede type vragen zijn numerieke vragen. Deze zijn gelijksoortig met de onder a. genoemde vragen met dien verstande dat er een getal uitgerekend moet worden en dat er geen alternatieven zijn gegeven.
- c. Diagramkeuze is de derde soort vragen. Hierbij moet de student uit een aantal diagrammen dat gegeven is, het diagram kiezen dat een beschreven situatie weergeeft.
- d. Tot slot zijn er de zogenaamde MTF-vragen waarbij MTF staat voor Multiple True False. Hier moet de student van een aantal beweringen aangeven of ze goed of fout zijn.

In dit onderzoek werden alleen de gewone meerkeuzevragen en de numerieke vragen voor de beantwoording van de vraagstelling bruikbaar geacht, omdat dit de enige vragen zijn die een volledige oplossing van een probleem vereisen.

Over studenten varieerde dus niet alleen de inhoud van de opgaven (trekking uit een verzameling), maar ook het aantal uiteindelijk in het onderzoek te gebruiken

opgaven, daar sommige studenten meer diagram-keuzevragen hadden dan andere. Hiervan werden geen consequenties voor de beantwoording van de onderzoeks-vraagstelling verwacht om de volgende redenen: Ten eerste werd de experimentele strategie geldig geacht voor alle problemen (zie paragraaf 2.2.4) die in het onderzoek betrokken werden. Ten tweede werd bij de beantwoording van deze vraagstelling, in eerste instantie, gekeken naar gegevens per groep en niet per individu.

2.2.3 Deelnemers aan het onderzoek

Deelnemers aan het onderzoek waren eerstejaars studenten Electrotechniek. Op grond van eindexamencijfers werd een groep van studenten samengesteld die aan de ene kant vermoedelijk een goede kans hadden om de cursus met succes af te leggen, maar aan de andere kant niet zo briljant waren dat ze geen moeilijkheden met de stof zouden ondervinden. Als selectie-criterium werden daarbij de volgende eind-examencijfers gebruikt:

- gemiddelde cijfer c voor natuurkunde en wiskunde I en eventueel wiskunde II:
 $7,3 \leq c \leq 8,0$ (7,3 is het gemiddelde van twee 7's en een 8) en bovendien
- het cijfer nederlands ≥ 7

De grens voor nederlands werd later, door gebrek aan kandidaten, verlaagd tot 6. De studentenadministratie van de afdeling Electrotechniek produceerde lijsten van studenten die aan deze criteria voldeden. Hieruit werden twee, per toeval gekozen, groepen uitgenodigd voor informatieve bijeenkomsten. De studenten werd daarin gevraagd om medewerking te verlenen aan het experiment. Zij ontvingen geen betaling voor hun deelname.

Gestreefd werd naar 8 deelnemers in de experimentele groep (IPA én hardop denken) en 8 in de controlegroep (alleen hardop denken). Na de informatieve bijeenkomst gaven 7 studenten uit de experimentele groep zich op voor het experiment en 5 uit de controlegroep. Deze groepen werden volgemaakt (tot $n=8$) door andere studenten uit de lijsten van namen te benaderen. Nadat de groepen vol waren gaf een student zich alsnog op voor de experimentele groep. Ook hij werd toegelaten hoewel hij zelf koos voor de extra instructie. Bij de eerste bijeenkomst van de experimentele groep bleek 1 student uit de controlegroep aanwezig te zijn en twee studenten niet aanwezig. Deze studenten kwamen later weer wel. In de loop van het experiment zag 1 student uit de controlegroep van verdere deelname af; hij vond dat het hardop denken hem te veel hinderde bij het afleggen van de toetsen. Dit resulteerde in een experimentele groep met $n=10$ en een controlegroep met $n=6$. Beide groepen zijn dus niet geheel a-select samengesteld. Aangenomen werd dat hier geen specifieke effecten door zouden ontstaan.

2.2.4 De experimentele strategie

Een goede strategie is een methodologische en systematische aanpak van een probleem. Een goede strategie laat het oplosproces soepel en efficiënt verlopen. Omdat een goede strategie ervoor zorgt dat er geen essentiële delen in het oplosproces overgeslagen worden wordt de kans op het maken van vergissingen en fouten verminderd. Bovendien is in een goede strategie een controlefase opgenomen. De kans op dwaalwegen en daardoor op verstriking in het probleem wordt dus geminimaliseerd.

Lowe (1982) wijst er daarnaast op dat het volgen van een expliciete strategie meer mogelijkheden tot communicatie tussen studenten onderling biedt. De uitwisseling van moeilijkheden bij het oplossen wordt vereenvoudigd. Daar kan aan toegevoegd worden dat dan ook de communicatie tussen docent en student bevordert wordt, zodat de vaardigheid om problemen op te lossen beter onderwezen kan worden.

Verschillende strategieën voldoen aan de bovengenoemde eisen. In het onderhavige onderzoek werd een strategie ontwikkeld die vooral geïnspireerd is op het GHV van Mettes & Pilot (1980). Het GHV is nogal gecompliceerd. De verschillende fasen in het GHV zijn bijzonder gedetailleerd. Van Weeren et al. (1979) hebben o.a. op basis van een foutenanalyse van oplossingen van studenten, het GHV vereenvoudigd. Bij deze vereenvoudiging wordt o.a. de nadruk gelegd op het kunnen analyseren van een probleem, het kunnen opstellen van een oplossingsroute en het nauwkeurig uitwerken van een probleem. Bij het opstellen van de experimentele strategie in het onderhavige onderzoek is de vereenvoudigde versie van Van Weeren et al. (1979) als uitgangspunt gekozen.

De experimentele strategie bestond uit het achtereenvolgens uitvoeren van een aantal fasen (Schoenfeld, 1983, spreekt hier overigens van 'episodes') in het oplosproces. Deze zijn: analyse, opstellen van kernbetrekkingen, oplossingsroute, uitwerking en controle. Elke fase wordt nu achtereenvolgens toegelicht. Detailleringen slaan steeds op het in het onderzoek betrokken vak: Electriciteit en Magnetisme.

a. Analyse.

In de analysefase moet een helder beeld opgebouwd worden van de gegeven situatie, wat er gebeurt en wat er gevraagd wordt. De volgende elementen zijn hierbij belangrijk:

- de tekst helemaal goed lezen
- de gegeven informatie zoveel mogelijk in een schets verwerken (cilinders, platen, ladingen, veldlijnen, aardverbindingen, etc.)
- belangrijke eigenschappen van een systeem vaststellen, zoals symmetrie, tijd(on)afhankelijkheid, geleideroppervlakten
- een coördinatenstelsel invoeren
- het gevraagde vaststellen
- conclusies trekken uit de gegevens.

- het antwoord voorspellen voor zover dat mogelijk is, bijvoorbeeld het teken, richting, toename of afname van de gevraagde grootheid.

b. Opstellen van kernbetrekkingen.

Na het uitvoeren van de analyse moeten voor de oplossing van het probleem belangrijke formules opgeschreven worden. Deze formules worden kernbetrekkingen genoemd (zie par. 2.2.5). Zij moeten een verband aangeven tussen de gegevens en het gevraagde. Tevens moet in deze fase nagegaan worden of de gekozen kernbetrekkingen wel geldig zijn in de gegeven situatie.

c. Oplossingsroute.

Het te snel overgaan tot rekenwerk kan leiden tot de berekening van niet gevraagde grootheden en verstrikking in het probleem. Dit geldt vooral voor die problemen waar de oplossing niet te vinden is door simpelweg gegevens in te vullen in de kernbetrekkingen, maar waar het probleem eerst in deelproblemen moet worden opgesplitst. Het is daarom zeer nuttig dat studenten expliciet een plan opstellen bij het oplossen van een probleem.

d. Uitwerking.

Als de oplossingsroute vastligt, is de uitwerking nu een kwestie van uitvoeren van vaststaande plannen. Belangrijke punten hierbij zijn:

- zorgvuldigheid in rekenwerk
- aandacht voor eventuele verschillen in notaties in het gegeven probleem en die in de gekozen kernbetrekkingen
- keuze van teken bij kring- en oppervlakteintegralen
- het uitstellen van numeriek rekenwerk tot het laatst; dit om het overzicht op de berekeningen niet te verliezen
- aandacht voor de dimensies, speciaal in gevallen waar gevraagd wordt naar grootheden per m of m^2 .

e. Controle.

De laatste fase van het oplosproces betreft een controle. De eerste vraag die de oplosser zich daarbij moet stellen is: 'Is er uitgerekend wat er gevraagd werd?' Daarnaast kan er een controle plaatsvinden door:

- vergelijken met wat er in de analysefase van het antwoord gezegd werd
- dimensiecontrole
- herhalen van de berekening met een nadere methode
- nalopen van het numerieke rekenwerk.

2.2.5 De instructie probleemaanpak (IPA)

De experimentele groep ontving de instructie probleemaanpak, IPA, 1 uur per week, gedurende 6 weken. De IPA begon nadat alle studenten de toets voor blok 2 uit de cursus hadden afgelegd. De instructie werd gegeven door een ervaren docente van de afdeling Natuurkunde van de THE (tevens de tweede onderzoeker). Bij de instructie werd de nadruk gelegd op de systematiek van de oplossing, de strategie, en was het niet de bedoeling expliciet specifieke denkhandelingen aan te brengen.

In de eerste bijeenkomst werden fouten geïnventariseerd die de studenten in een al afgelegde toets gemaakt hadden. Aan de hand van een zo gemaakte lijst werd het

nut van een systematische probleemaanpak op twee punten benadrukt:

- door systematisch te werk te gaan bij het oplossen van een probleem kan men de kans op succes vergroten en een aantal fouten vermijden
- door tussen- en eindresultaten kritisch te evalueren kan men een aantal fouten ontdekken.

Aan de andere kant, zo werd aangevoerd, is het duidelijk, dat geen methode of strategie tot een oplossing leidt, als men de vakinhoud niet voldoende beheerst en niet in staat is om die kennis toe te passen op problemen. Allereerst moet men dus aandacht besteden aan de vakkennis. Dit werd gedaan aan de hand van het door Mettes & Pilot (1980) ingevoerde begrip kernbetrekking. Met de naam kernbetrekking wordt een fundamentele wet aangeduid, die als het ware de kern van een stuk theorie vormt. De term wordt ook wel gebruikt voor minder fundamentele formules, die moeilijk zijn om af te leiden. Een lijst van kernbetrekkingen, behorende bij een bepaald stuk stof, is daarom te beschouwen als een korte samenvatting van de stof en heeft meer inhoud dan een lijst van formules. De studenten werd uitgelegd dat bij iedere kernbetrekking, of die nu in woorden of in formulevorm is uitgedrukt, de kennis van ieder symbool, dat erin voorkomt, hoort, evenals de voorwaarden waaronder de betrekking geldig is, en zijn toepassings gebieden. De kernbetrekkingen kunnen gezien worden als kernen waar de kennis van stof omheen geordend is. In ditzelfde eerste instructie-uur werd vervolgens aandacht besteed aan het individueel of in koppels oefenen in het opstellen van een lijst van kernbetrekkingen die behoorde bij de stof van blok 2 uit de cursus, de wet van Gauss. De toets over dit blok was door iedereen reeds afgelegd.

In het tweede instructie-uur werden de verschillende fasen uit de experimentele strategie mondeling behandeld. De strategie werd toegelicht aan de hand van voorbeelden.

De resterende 4 instructie-uren werden gebruikt voor oefening met de hiervoor geselecteerde opgaven. Deze waren zo gekozen dat het nut van de experimentele strategie duidelijk bleek. De inhoud van de opgaven sloot aan op de blokken waar de studenten (ongeveer) op het moment van de instructie mee bezig waren. De studenten werkten bij het oefenen op werkbladen waarop de verschillende fasen van de strategie waren aangegeven. Deze werkbladen waren van hetzelfde type als gebruikt in Van Weeren et al. (1979). Op deze werkbladen zijn voor elke fase uit de strategie afgeschelden ruimten aangebracht. Aan het eind van iedere oefening werd een voorbeeldoplossing van het probleem uitgereikt.

2.3 De effectmeting

De vraagstelling in het onderzoek luidde: 'Gaan de studenten die de IPA volgden meer conform de aangeboden strategie problemen oplossen?' Om deze vraag te kunnen beantwoorden moet het oplosgedrag van de studenten afgezet worden tegen het ideale, gedoeerde oplosgedrag, de experimentele strategie. Dit vereist een gecompliceerde meting.

Voor het verkrijgen van data werd gekozen voor de methode van hardop denken. Eerst wordt nu deze methode beschreven en de wijze waarop in het onderzoek protocollen verkregen werden. Vervolgens wordt ingegaan op de analyse van protocollen in het algemeen en hoe de analyse in dit onderzoek werd uitgevoerd. Resultaat van deze protocolanalyse was dat het oplosproces van een student als een opeenvolging van denkstappen beschreven kon worden. Tot slot wordt uiteengezet hoe deze sequentie van denkstappen vergeleken werd met de in de IPA gedoeerde experimentele strategie en wordt een indruk van de betrouwbaarheid van de protocolanalyse gegeven.

2.3.1 De hardop denkmethode

In het onderzoek werd gebruik gemaakt van de zogenaamde hardop denkmethode. Deze methode houdt simpelweg in dat uitvoerders van een cognitieve activiteit gevraagd wordt deze hardop denkend uit te voeren.

Een groot voordeel van deze methode is dat er directe kwalitatieve data te verkrijgen zijn. Een evident nadeel is de omslachtige en mogelijk tot subjectiviteit aanleiding gevende interpretatie van de data die bij deze methode noodzakelijk is. Daarnaast wordt ook gerapporteerd over een mogelijke interferentie tussen deze methode en het oplosgedrag (Flaherty, 1975) en over het feit dat niet alles wat iemand denkt in de protocollen terecht komt (Kellogg, 1982). Een uitgebreide discussie over de voor- en nadelen van deze methode vinden we bij Nisbett & Wilson (1977) en Ericsson & Simon (1980; 1985). Deze discussie zal hier niet herhaald worden. Volstaan wordt met de conclusie die Wouters & De Jong (1982) eerder trokken namelijk dat er geen principiële bezwaren zijn tegen het toepassen van de methode.

2.3.2 De opname van de toetsen

De studenten die deelnamen aan het experiment (zowel de controle als de experimentele groep) moesten drie bloktoetsen (na de blokken 2, 6 en 9 uit de cursus E&M I) hardop denkend afleggen.

Net als alle andere deelnemers aan de cursus E&M I konden de deelnemers aan

het experiment zelf het moment uitkiezen dat ze een toets wilden afleggen. Ze kregen toetsopgaven, die volgens de normale procedure door middel van een computer uit een verzameling toetsopgaven getrokken waren. Voor het op geluidsband opnemen van het hardop denken werden twee onderzoeksassistenten (ouderejaars studenten Natuurkunde) aangetrokken. Een van hun taken was om de studenten van het benodigde materiaal te voorzien. Dit waren het toetsboek met opgaven voor de toets, de toetsbrief met de door de computer geselecteerde opgaven en de werkbladen voor de uitwerking van de problemen. Deze blanco werkbladen waren door middel van strepen aan de kant onderverdeeld in vijf delen om later bij het behuizen van de opname, de schriftelijke uitwerking van de student en zijn uitspraken op de band gemakkelijker bij elkaar te brengen. Tijdens de opname werd daarvoor door de assistent namelijk een 'technisch protocol' opgesteld, d.w.z. hij maakte een lijst van de stand van de teller van de recorder iedere keer wanneer een student aan een nieuw deel van zijn werkblad begon. Ook werd daarbij aangetekend wanneer de student een tekening maakte of een saillante uitspraak deed.

De studenten werd gevraagd om al werkend hardop te denken maar verder geen aandacht te besteden aan de assistent of de cassetterecorder. Bij langere stiltes was het de taak van de assistent om de student weer te herinneren aan het hardop denken. Verder mocht de assistent op geen enkele manier invloed uitoefenen op het werk van de student. Het totale protocol van een toets bestond dus uit drie onderdelen: de bandopname, het schriftelijk werk van de student en het technisch protocol van de assistent.

2.3.3 Analyse van de protocollen

Bij het toepassen van de hardop denkmethode ontstaan protocollen. Dit zijn de (vaak letterlijk uitgeschreven) uitingen van de studenten, oplosers. Deze weerspiegelen het oplosgedrag in ruwe vorm. De protocollen moeten door de onderzoeker geanalyseerd worden wil men inzichtelijke en interpreteerbare data krijgen. Dit gebeurt in de protocolanalyse. Bij een analyse wordt vrijwel altijd een analyseschema als hulpmiddel gebruikt. De bouwstenen van een analyseschema zijn, wat genoemd kan worden de '*cognitieve eenheden*'. Cognitieve eenheden bevatten de psychologische inhoud van het schema. Afhankelijk van het gebied van onderzoek bevatten de cognitieve eenheden bestuderingsprocessen, denkhandelingen, etc. Op het gebied van probleemoplossen wordt veelal gesproken van denkstappen. Een voorbeeld van zo'n denkstap is: 'het uitvoeren van een probleemtransformatie' (Mettes & Pilot, 1980). In termen van het schema zijn cognitieve eenheden elementair dwz. de kleinste analyse-eenheid.

Een cognitieve eenheid in een analyseschema bevat een label en een zo nauw-

keurig mogelijke omschrijving van de voor de betreffende cognitieve eenheid typerende cognitieve handeling. Deze omschrijving maakt het schema geschikt voor analysedoeleinden. Uitingen van oplossers kunnen zo binnen cognitieve eenheden geplaatst worden. Hoe nauwkeuriger de omschrijving des te minder moeilijkheden er zullen zijn bij de scoring. De omschrijving is daarom vooral van belang voor het verkrijgen van een acceptabele intersubjectiviteit van de beoordeling. Een verder hulpmiddel hierbij is het in het schema opnemen van voorbeelden van uitspraken van oplossers bij elke cognitieve eenheid.

Resumerend: een analyseschema is opgebouwd uit cognitieve eenheden. Elke cognitieve eenheid bevat een label en een omschrijving van een cognitieve handeling. Daarnaast kan de cognitieve eenheid specifieke voorbeelden van de cognitieve handeling bevatten.

2.3.4 Soorten analyseschema's

Analyseschema's kunnen op twee dimensies ingedeeld worden:

- de structuur van het schema
- de mate van detail van een schema.

Qua structuur kan men twee soorten schema's onderscheiden, opsomschema's en relatieschema's. Opsomschema's bevatten alleen cognitieve eenheden soms in soorten geordend (zie bijvoorbeeld Wouters & De Jong, 1982; Olshavsky, 1976, 1978). Relatieschema's bevatten daarnaast ook (logische, temporele) relaties tussen cognitieve handelingen (zie bijvoorbeeld Mettes & Pilot, 1980).

De mate van detail van een analyseschema wordt teruggevonden in het aantal cognitieve eenheden dat een schema bevat. De mate van detaillering is vooral een keuze van de onderzoeker. Eerder werd gesteld dat cognitieve eenheden *binnen een schema* elementair zijn. Dat wil niet zeggen dat de cognitieve handelingen uit een eenheid niet verder gedetailleerd kunnen worden. Dat is zeker wel het geval. Het boven aangehaalde voorbeeld: 'uitvoeren van een probleemtransformatie' kan bijvoorbeeld verder gesplitst worden in: 'specificeren en substitueren van een kernbetrekking' en 'successieve transformatie vanuit het gevraagde' (Mettes & Pilot, 1980, p. 106).

Bij exploratief, louter beschrijvend, onderzoek zal de mate van detail vooral afhangen van de mate van tevredenheid die een onderzoeker op een gegeven moment met de beschrijving heeft. Bij hypothese toetsend onderzoek zal de mate van detaillering in eerste instantie bepaald worden door de onderzoeksvraag.

In het onderhavige onderzoek moest nagegaan worden of studenten die de experimentele strategie aangeboden kregen deze strategie ook gingen gebruiken bij het

oplossen van problemen. Een strategie bevat (temporele) relaties tussen fasen in het oplosproces. Om een vergelijking tussen het oplosgedrag van de studenten en de experimentele strategie te kunnen maken is dus een relatieschema nodig. De relaties tussen de cognitieve eenheden uit het analyseschema moeten uiteraard afgeleid zijn uit de experimentele strategie. De detaillering van het analyseschema moet afgestemd zijn op de detaillering van de experimentele strategie.

Omdat de rijkheid van het materiaal uitnodigde tot een diepere, meer descriptieve analyse van het materiaal werd in het analyseschema meer detail aangebracht dan voor het hypothese toetsende deel van het onderzoek noodzakelijk zou zijn. Deze detaillering geschiedde echter zodanig dat door samenvoeging van cognitieve eenheden het oorspronkelijke hypothese toetsende doel van het onderzoek zonder problemen kon worden uitgevoerd. De detaillering kwam neer op verdere differentiatie van de categorieën die in 2.3.5 nader aangeduid zullen worden (zie ook de Appendix bij dit hoofdstuk, blz. 98). Verder werd verwacht dat deze detaillering behulpzaam zou zijn bij de feitelijke beoordeling van de protocollen.

2.3.5 De constructie van het analyseschema

Bij de constructie van het analyseschema werd begonnen met het opstellen van een ideaal oplossingsmodel. Allereerst werden de vijf fasen uit de strategie als volgt gepreciseerd:

- A. Analyse.
 - A.0. Lezen van de tekst; bekijken van eventuele figuren.
 - A.1. Situatie-analyse.
 - A.2. Doel-analyse.
- KB Kernbetrekkingen.
 - KB.1. Selecteren van kernbetrekkingen.
 - KB.2. Vaststellen van de geldigheid van gekozen kernbetrekkingen.
- O. Oplossingsroute.
 - O.1. Zoeken naar een oplossingsroute.
 - O.2. Vaststellen van een oplossingsroute.
- DP Kiezen van een direct aan te pakken deelprobleem.
- U. Uitwerking.
 - U.1. Invullen van gegevens in een kernbetrekking en uitvoeren van algebraïsch en numeriek rekenwerk.
 - U.2. Vaststellen resultaat U.1., integratie in oplossingsroute.
- K. Kontrolé.
 - K.U. Kontrolé op U.1. door herhaling
 - K... Andere controlemethoden.

Om een adequate descriptie van het gedrag van studenten te kunnen verkrijgen

werden nog enkele fasen toegevoegd. Uit de fase uitwerking werd de fase 'Probleemtransformatie (Pt)' afgescheiden (zie ook Mettes & Pilot, 1980). Deze fase was niet expliciet in de experimentele strategie opgenomen. Het begrip probleemtransformatie werd gebruikt om die denkstappen te beschrijven die in sommige problemen nodig kunnen zijn tussen aan de ene kant het afbakenen van het (deel-)probleem en aan de andere kant het uitvoeren van standaardbewerkingen. Een voorbeeld hiervan is: 'het kiezen van een oppervlak, waarop een integraalstelling kan worden toegepast'. De fase 'Uitwerking' werd gereserveerd voor zuiver rekenkundig werk: invullen, integreren, differentiëren, algebraïsch en numeriek rekenen.

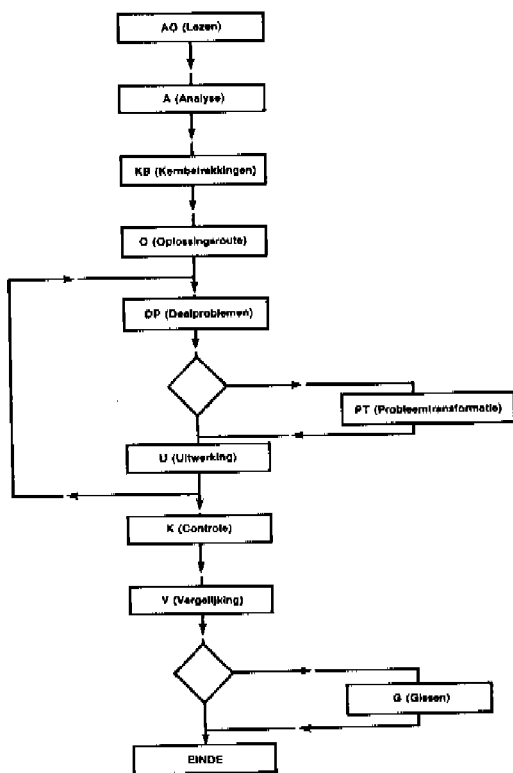
Het feit dat de meeste toetsopgaven meerkeuzevragen waren noodzaakte het toevoegen van twee fasen:

- V. Vergelijken van het gevonden antwoord met de gegeven antwoordalternatieven.
- G. Gissen, d.w.z. op grond van niet fysische argumenten gokken op een van de alternatieven.

In Figuur 2.2. zijn de zo opgestelde fasen verwerkt in een ideale oplossingsweg. Enkele niet expliciet in de onderwezen strategie opgenomen fasen maken wel deel uit van de ideale oplossingsweg. De fasen A.0. en V. zijn opgenomen om een begin- en eindpunt te hebben. De fase uitwerking uit de strategie is weer gesplitst in U. en Pt. Toegevoegd werd ook de fase G. De lus in het model is ingebouwd om aan te geven dat bij problemen waar meerdere deelproblemen opgelost moeten worden telkens weer teruggegaan moet worden naar de keuze van een nieuw deelprobleem. Tevens is in deze oplossingsweg opgenomen dat niet bij elk probleem een probleemtransformatie hoeft plaats te vinden, maar dat er een keuzemoment bestaat waarin de student beslist of er voor het gekozen deelprobleem direct een standaarduitwerking bestaat. Ook de fase Gissen hoeft niet op te treden. Wanneer een student dus te werk gaat volgens de experimentele strategie dan volgt hij de in Figuur 2.2. (zie volgende pagina) afgebeelde 'ideale oplossingsweg'.

De opgestelde lijst van cognitieve eenheden (A0, A1, A2, KB etc.) werd met behulp van een aantal protocollen van andere studenten fijnmaziger gemaakt. Dit betrof weliswaar protocollen van studenten die verder gevorderd waren met de studie dan de proefpersonen uit het onderzoek, maar desalniettemin werd een verdere detaillering zo mogelijk.

Het zo ontstane analyseschema werd vervolgens gebruikt om twee nog niet gebruikte E&M I protocollen te analyseren. Daarbij bleek dat alle uitingen van deze oplossers in cognitieve eenheden uit het schema geplaatst konden worden; het schema voldeed dus goed. De structuur van deze twee oplossingen was echter niet conform de structuur van het analyseschema. De structuur geeft de ideale oplos-



Figuur 2.2. De ideale oplossingsweg volgens de experimentele strategie.

singsweg volgens de experimentele strategie aan, een weg die deze studenten niet noodzakelijkerwijs hoefden te volgen.

Het aldus ontstane analyseschema werd gebruikt bij de analyse van de protocollen uit het onderzoek. Hierbij hoefde het schema slechts minimaal bijgesteld te worden. Dit gebeurde alleen wanneer er iets nieuws in een protocol optrad. Deze uitbreidingen betroffen alleen sub-categorieën en niet de eerder genoemde uit de experimentele strategie afgeleide hoofdcategorieën. De hier gehanteerde methode van het successievelijk aanpassen van een analyseschema wordt door Breuker (1981) de *analysis-by-synthesis* methode genoemd.

Het resulterende analyseschema wordt in de Appendix (blz. 98) van dit hoofdstuk weergegeven.

2.3.6 De gevolgde werkwijze bij de protocolanalyse

Voor de analyse van protocollen worden bandopnames vrijwel altijd letterlijk uitgeschreven of uitgetikt. Helaas was er in dit onderzoek geen (financiële) ruimte om dit, zeer tijdrovende, werk te laten uitvoeren. Besloten werd daarom om rechtstreeks van de band te analyseren. Het analysewerk werd steeds gedaan door twee personen. Meestal waren dit de auteur en de tweede onderzoeker (een ervaren docente Natuurkunde, dezelfde die ook de IPA had gegeven). Gedurende de vakantieperiode werd een van deze vervangen door een studentassistent (ouderejaars student Natuurkunde). Deze studentassistent was eerst terdege ingewerkt. De protocollen waren anoniem gemaakt en de beoordelaars van de protocollen wisten niet tot welke experimentele conditie de personen van wie de protocollen afkomstig waren behoorden.

Bij de analyse werden uitspraken van studenten benoemd door middel van de cognitieve eenheden uit het analyseschema. Resultaat van deze analyse is een sequentie van labels van cognitieve eenheden. Tevens werd er aantekening van gemaakt wanneer een student een natuurkundige of rekenfout maakte. Daarnaast werd vaak bij een cognitieve eenheid kort de vakinhoud waar deze betrekking op had vermeld. Selecteerde de student bijvoorbeeld een kernbetrekking, dan werd aangekend welke dit was. Een indruk van de betrouwbaarheid van de analyse wordt gegeven in par. 2.3.8.

De studenten die deelnamen aan het onderzoek moesten drie bloktoetsen hardop denkend uitvoeren, de bloktoetsen 2, 6 en 9. Vanwege het tijdrovende karakter van de meting werd besloten de analyse van de protocollen van blok 6 niet uit te voeren. Blok 6 was een tussentijdse meting, als er verschillen ontstaan dan moeten die het duidelijkst zijn tussen blok 2 en blok 9.

2.3.7 Vergelijking van het oplosgedrag met de experimentele strategie

De sequentie van cognitieve eenheden die ontstaat als resultaat van de analyse weerspiegelt het oplosgedrag van de student. Dit oplosgedrag moet dan vergeleken worden met het oplosgedrag dat volgens de experimentele strategie ideaal is. Hiertoe werden allereerst de subcategorieën uit het meetschema samengevoegd tot de hoofdcategorieën uit Figuur 2.2. Vervolgens werd besloten de geanalyseerde protocollen te gebruiken tot de student bij een opgave een eerste eindantwoord gegeven had. Dan moet de strategie die een student gebruikt duidelijk zijn. Om de beoogde vergelijking tussen oplosgedrag van de studenten en oplosgedrag volgens de experimentele strategie te kunnen maken is onderstaande tabel ontworpen, zo'n tabel wordt hierna de 'overgangstabel' genoemd (zie Figuur 2.3.).

V								7	
K							6		
U		5	3						
PT									
DP									
O									
KB			2						
A	1								
	AO	A	KB	O	DP	PT	U	K	V
	AO								
		A					4		
			KB						
				O					
					DP				
						PT			
							U		

Figuur 2.3. De overgangstabel.

De codes A0, A, KB, etc. in Figuur 2.3 betreffen de fasen zoals afgebeeld in Figuur 2.2. De fase 'Gissen' (G) hoefde niet opgenomen te worden omdat, zoals vermeld, er verwerking van de gegevens plaats vond tot het eerste antwoord van de student. Studenten gingen pas gissen nadat zij (herhaaldelijk) op een antwoord kwamen dat niet bij de alternatieven stond.

De cellen van de tabel geven overgangen tussen fasen aan. De horizontale as is daarbij telkens het uitgangspunt en op de verticale as is de fase aangegeven waar men naar toegaat. Wanneer een sequentie van cognitieve eenheden overgebracht wordt op een overgangstabel, dan wordt na elke overgang weer teruggekeerd naar de horizontale as. De cel met nummer 1 in Figuur 2.3 betekent dus een overgang van lezen (A0) naar analyse (A), de cel met nummer 2 een overgang van analyse (A) naar het opstellen van (een) kernbetrekking(en) (KB). In Figuur 2.3. is ter illustratie in de overgangstabel het oplosgedrag van één student bij één opgave opgenomen. De cijfers in Figuur 2.3. geven de volgorde van de fasen aan. Deze student begon bij deze opgave dus met lezen (A0) en ging van daaruit naar analyse (A). Vanuit analyse werd overgestapt op het selecteren van (een) kernbetrekking(en) (KB) en vervolgens werd overgegaan tot uitwerking (U). Na deze uitwerking moest de student weer teruggaan naar de analysefase, waarna hij weer verder met de uitwerking ging. Daarna volgde een controle (K) en een vergelijking (V).

In de overgangstabel zijn 4 'gebieden' van overgangen te onderscheiden. Deze gebieden staan elk in een andere relatie tot de experimentele strategie.

1. Een oplosproces volgens de experimentele strategie wordt in de tabel aangegeven door de dubbel omlijnde cellen. Het volgen van de experimentele strategie betekent dat men alle fasen uitvoert in de aangegeven volgorde. Hierbij moet een uitzondering gemaakt worden voor de fase PT, niet elk probleem vereist een probleemtransformatie. Ook is rekening gehouden met het kunnen overslaan van PT en het soms noodzakelijke oplossen van verschillende deelproblemen (de lus in Figuur 2.2.). Daarnaast wordt het niet als een afwijking van de experimentele strategie gezien als men eerst vergelijkt en dan controleert i.p.v. andersom. Bij MK-vragen is het niet reëel te eisen dat wanneer er een antwoord gevonden is men eerst controleert voordat er naar de alternatieven gekeken wordt.
2. Boven de dubbel omlijnde cellen en de diagonaal is het gebied waarin overgangen staan waarbij een of meerdere fasen zijn overgeslagen. De oplosser gaat sneller dan de experimentele strategie toestaat. Hij maakt bijvoorbeeld geen oplosroute en gaat direct van KB naar DP of U.
3. Onder de horizontale as staan de overgangen die aangeven dat men terugkeert naar een eerdere fase uit de experimentele strategie. Een oplosser moet soms terug naar een eerdere fase omdat hij deze overgeslagen heeft of omdat hij deze in eerste instantie niet volledig genoeg heeft uitgevoerd. Hij heeft bijvoorbeeld geen voldoende analyse gemaakt en moet dit later inhalen. De teruggangen in dit gebied zijn dus niet conform de experimentele strategie.
4. Het resterende gebied, onder de dubbel omlijnde cellen en boven de horizontale as is gereserveerd voor teruggangen die niet als afwijking van de experimentele strategie gezien kunnen worden. Enkele afwijkingen van de experimentele strategie worden niet als echte afwijkingen beschouwd omdat zij in feite slimme afwijkingen of afwijkingen die door omstandigheden veroorzaakt worden zijn. Hieronder vallen tussentijdse controles tijdens het rekenen en terugkeer naar fase A.1.4 (analyse die niet voorzien had kunnen worden). Ook wanneer een student er in de fase uitwerking niet meer uitkomt (rekenfouten bijvoorbeeld) en dan besluit opnieuw met de opgave te beginnen komt deze overgang in dit gebied terecht waarna de student weer met 'een schone lei' kan beginnen. Het betreft hier allemaal niet vaak voorkomende gevallen.

Resultierend zijn er in de tabel twee gebieden waarin overgangen staan die conform de experimentele strategie zijn (de gebieden 1 en 4) en twee gebieden waarin overgangen staan die niet conform de experimentele strategie zijn (2 en 3).

2.3.8 Betrouwbaarheid van de analyse

Om een indruk te krijgen van de betrouwbaarheid van de analyse werden 10 (willekeurig gekozen) protocollen uit blok 2 door de onderzoekers een tweede keer beoordeeld. 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 de eerste beoordeling geen rol meer speelde. In Tabel 2.1 staan de resultaten.

Tabel 2.1

Betrouwbaarheidsbeoordeling

		1e beoordeling											
		A0	A	KB	O	DP	PT	U	K	V	-		
2e beoorde- ling	A0	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	

Het percentage overeenstemming in Tabel 2.1 is 81%. De onbetrouwbaarheid van 19% wordt grotendeels veroorzaakt door de frequenties in de laatste kolom en de onderste rij. Deze betekenen dat bij de ene beoordeling een handeling van een oplosser wel en bij de andere beoordeling deze zelfde handeling niet benoemd werd. Handelingen die bij beide beoordelingen in een categorie van de experimentele strategie geplaatst werden, werden in 97% van de gevallen in dezelfde categorie geplaatst (Kappa (Cohen, 1960) is .97). Dit laatste betekent dat het analyseschema bijzonder betrouwbare benoemingen in de hier gebruikte categorieën mogelijk maakt. Het voorkomen van gevallen waarin een handeling bij de ene beoordeling wel en bij de andere niet benoemd wordt, wordt waarschijnlijk niet veroorzaakt door

onvolkomenheden in het analyseschema. Twee andere oorzaken zijn hiervoor aan te wijzen:

1. Sommige cognitieve handelingen, zoals het kiezen van een deelprobleem of het selecteren van een kernbetrekking, worden nogal eens impliciet uitgevoerd. Een strakkere instructie over het hardop denken aan de studenten had dit waarschijnlijk (deels) kunnen voorkomen.
2. De protocollen werden niet, zoals gebruikelijk is, uitgetikt. Voor deze zeer tijdrovende bezigheid was geen financiële ruimte, zodat niets anders overbleef dan rechtstreeks van de band de protocollen te analyseren. Dit kan echter tot gevolg hebben dat opmerkingen van studenten aan de aandacht ontsnappen.

De 10 voor de betrouwbaarheidsbeoordeling geanalyseerde protocollen werden op overgangstabellen overgebracht waarna deze voor beide beoordelingen afzonderlijk gesommeerd werden. Het resultaat hiervan staat in Overzicht 2.1, hier zijn in de cellen de (over de 10 protocollen gesommeerde) frequenties van de voor de cel typerende overgang vermeld.

1e beoordeling

V									10			
K									1			1
U			1	12			1	2			1	
PT			1	7								
DP				3						1		
O					1							
KB												
A	10											
AO	A	KB	O	DP	PT	U	K	V				
AO												
A	1			2	1	1						
KB	1	1	5	4								
O												
DP												
PT												
U												

2e beoordeling

V		1							4			
K												1
U			1	9			1	3				
PT			2	4								
DP			4		1					2		
O					2							
KB												
A	12											
AO	A	KB	O	DP	PT	U	K	V				
AO												
A	2											
KB	1	1	2	3								
O												
DP												1
PT												
U												

Overzicht 2.1. Overgangstabellen voor de betrouwbaarheidsbeoordeling.

In Tabel 2.2 zijn de overgangstabellen uit Overzicht 2.1 samengevoegd tot de hoofdcategorieën Strategie, dit zijn de in paragraaf 2.3.7 omschreven gebieden 1 en

4 en Non-Strategie (N.-Str.), de gebieden 2 en 3 uit paragraaf 2.3.7. Tevens is per hoofdcategorie het percentage daarin voorkomende overgangen (van het totaal aantal in een overgangstabel voorkomende overgangen) vermeld.

Tabel 2.2

Betrouwbaarheidsbeoordeling, hoofdcategorieën (voor de sschuine streep de frequentie, na de schuine streep het percentage)

	<u>STRATEGIE</u>	<u>N.-STR.</u>
1e beoordeling	37/47%	41/53%
2e beoordeling	40/50%	40/50%

Wanneer de betrouwbaarheidsbepaling wordt uitgevoerd op de subcategorieën uit het analyseschema in plaats van op hoofdcategorieën dan daalt de betrouwbaarheid tot onder een aanvaardbaar nivo. Er zal daarom in het vervolg grotendeels afgezien worden van conclusies met betrekking tot subcategorieën. Waar dit wel gebeurt zal een kanttekening gemaakt worden wat betreft de betrouwbaarheid.

2.4 Resultaten

2.4.1 Verschillen in strategiegebruik tussen de experimentele condities

Voor de beide groepen uit het onderzoek werden voor blok 2 en blok 9 overgangstabellen opgesteld. Er ontstonden zo vier overgangstabellen. Deze zijn opgenomen in Overzicht 2.2 (blz. 74). De tabellen bevatten in elke cel de gesommeerde frequenties van de voor de cel geldende overgang tussen fasen. Deze sommatie betreft alle studenten en alle opgaven voor de betreffende groep en het betreffende blok. Men kan dus in overgangstabel A uit Overzicht 2.2 aflezen dat in de controlegroep bij blok 2 in totaal 24 maal een overgang van KB naar U plaatsgevonden heeft.

De overgangstabellen in Overzicht 2.2 zijn moeilijk vergelijkbaar omdat het totaal aantal overgangen in een overgangstabel tussen de groepen en blokken verschilt. De oorzaken hiervan zijn dat tussen de twee groepen het aantal opgaven en het aantal studenten verschilt en tussen de twee blokken het aantal opgaven (zie 2.2.2 en 2.2.3). Een andere oorzaak voor het variëren van het totaal aantal overgangen is dat het aantal stappen dat een student voor de oplossing van een opgave gebruikt geen constante is. Om de vergelijking tussen groepen en blokken te vereenvoudigen zijn in Overzicht 2.3 (blz. 75) de frequenties omgezet in percentages (van het totaal aantal overgangen in de betreffende tabel).

Eén blik op de overgangstabellen is voldoende om te zien dat er nog al eens van het rechte pad, de experimentele strategie, wordt afgeweken. Voor toetsing van de hypothese is de vraag interessant of er tussen groepen en tussen blokken verschillen zijn in het aantal afwijkingen van de experimentele strategie. Om deze vergelijkingen te kunnen maken zijn in de Tabellen 2.3 t/m 2.6 (blz. 76) gegevens uit de overgangstabellen uit Overzicht 2.2 en Overzicht 2.3 samengevoegd. De categorie 'Overslaan' is een sommatie van het gebied uit de overgangstabel boven de dubbel omlijnde cellen en de diagonaal. De categorie 'Terug' betreft het gebied onder de horizontale as. De categorie 'Strategie' betekent een samenvoeging van het resterende gebied. In de laatste kolom zijn de categorieën Overslaan en Terug weer verder samengevat tot 'Non-Strategie'. Telkens wordt eerst de frequentie en dan (na de schuine streep) het percentage weergegeven.

A. Controlegroep, blok 2

V		1				21	3		
K			1			5		5	
U	7	24	1	5	13		3		
PT	3	11	2	3		1			
DP		8	5	3		5			
O	1	5	1						
KB		21							
A	27				1		1		
AO	A	KB	O	DP	PT	U	K	V	
AO	2	1							
A	1	2	4	2	5				
KB	1	8	5	9	1				
O				2					
DP	1	1							
PT	1								
U									

B. Controlegroep, blok 9

V		2				11	3		
K		1				8		2	
U	8	29		12	11				
PT	3	9		3		2			
DP	9	3	7			12	1		
O	1	6	4				3		
KB	4	10				1			
A	24						1		
AO	A	KB	O	DP	PT	U	K	V	
AO	4	1							
A	4	5	5	2	11				
KB	2	12	4	8					
O			1	1					
DP									
PT									
U									

C. Experimentele groep, blok 2

V		1				32	3		
K						8		14	
U	1	10	35	1	13	10		4	
PT		8	17		4				
DP		11	5	6			7		
O	1	9	4						
KB	2	26							
A	39						2		
AO	A	KB	O	DP	PT	U	K	V	
AO	4								1
A	11	6	2	5	9	1			
KB	4	11	5	16	1				
O				4					
DP				3					
PT					2				
U									

D. Experimentele groep, blok 9

V						27	4		
K						31		31	
U		17	53	4	13	5		1	2
PT		3	7	2	1				
DP	2	8	8	11		1	13	1	
O	1	10	8						
KB	3	35					1		
A	36				3		2		
AO	A	KB	O	DP	PT	U	K	V	
AO	1	1							
A	9	5	2	1	18				1
KB	3	25	3	14	2				
O			3	4					
DP									
PT									
U									

Overzicht 2.2. Overgangen tussen fasen, frequenties.

A. Controlegroep, blok 2

V		0,4					0,0	1,3	
K			0,4				2,1		2,1
U		3,0	10,3	0,4	2,1	5,6		1,3	
PT		1,3	4,7	0,9	1,3			0,4	
DP		2,6	2,1	1,3			2,1		
O	0,4	2,1	0,4						
KB		9,0					0,4		
A	11,5			0,4		0,4			
AO	A	KB	O	DP	PT	U	K	V	
AO	0,9	0,4							
A	1,3	0,9	1,7	0,9	2,1				
KB	0,4	3,4	2,1	3,9	0,4				
O				0,9					
DP	0,4	0,4							
PT	0,4								
U									

B. Controlegroep, blok 9

V		0,8					4,3	1,2	
K		0,4					3,1		0,8
U		2,1	11,2		4,7	4,3			
PT		1,2	3,5		1,2		0,0		
DP		3,5	1,2	2,7			4,7	0,4	
O	0,4	2,3	1,5					0,4	
KB	1,5	7,4					0,4		
A	0,3							0,4	
AO	A	KB	O	DP	PT	U	K	V	
AO	1,5	0,4							
A	1,6	1,9	1,9	0,8	0,3				
KB	0,8	4,7	1,5	3,1					
O			0,4	0,4					
DP									
PT	0,4								
U									

C. Experimentele groep, blok 2

V		0,3					8,7	0,8	
K							2,1		2,8
U	0,3	2,7	0,5	0,2	3,5	4,9		1,1	
PT		2,1	4,6		1,1				
DP		3,0	1,4	1,6			1,9		
O	0,3	2,5	1,1						
KB	0,5	2,6							
A	10,6						0,5		
AO	A	KB	O	DP	PT	U	K	V	
AO	1,3							0,3	
A	2,1	1,6	0,5	1,4	2,5	0,3			
KB	1,1	3,5	1,4	4,4	0,3				
O				1,1					
DP	0,8								
PT	0,5								
U									

D. Experimentele groep, blok 9

V							6,9	1,0	
K							2,8		2,1
U		4,4	13,6	1,0	3,3	1,3		0,3	0,5
PT		0,8	1,0	0,5	0,3				
DP	0,5	2,1	2,1	2,8		0,3	3,3	0,3	
O	0,3	2,6	2,1						
KB	0,8	0,0					0,3		
A	0,2				0,6		0,5		
AO	A	KB	O	DP	PT	U	K	V	
AO	0,3	0,3							
A	2,3	1,3	0,5	0,3	3,9	0,3			
KB	0,8	6,4	0,8	3,6	0,5				
O			0,8	1,0					
DP									
PT									
U									

Overzicht 2.3. Overgangen tussen fasen, percentages van het totaal.

Tabel 2.3

Samenvattende frequenties en percentages overgangen voor Blok 2

	<u>STRATEGIE OVERSLAAN TERUG</u>		<u>N.-STRAT.</u>
CONTR.	119/51%	67/29%	48/21%
EXP.	182/50%	101/28%	84/23%

Tabel 2.4

Samenvattende frequenties en percentages overgangen voor Blok 9

	<u>STRATEGIE OVERSLAAN TERUG</u>		<u>N.-STRAT.</u>
CONTR.	122/47%	75/29%	61/24%
EXP.	183/47%	118/30%	89/23%

De Tabellen 2.3 en 2.4 laten zien dat tussen de experimentele groep en de controle-groep geen verschillen in afwijking van de experimentele strategie bestaan, noch in blok 2, noch in blok 9.

Wanneer de gegevens anders gerangschikt worden (Tabellen 2.5 en 2.6) en een vergelijking tussen de blokken gemaakt wordt, wordt duidelijk dat beide groepen in blok 9 iets minder volgens de strategie te werk gaan, deze ontwikkeling is voor beide groepen gelijk.

Tabel 2.5

Samenvattende frequenties en percentages overgangen voor de controlegroep

	<u>STRATEGIE OVERSLAAN TERUG</u>		<u>N.-STRAT.</u>
BLOK 2	119/51%	67/29%	48/21%
BLOK 9	122/47%	75/29%	61/24%

Tabel 2.6

Samenvattende frequenties en percentages overgangen voor de experimentele groep

	<u>STRATEGIE OVERSLAAN TERUG</u>		<u>N.-STRAT.</u>
BLOK 2	182/50%	101/28%	84/23%
BLOK 9	183/47%	118/30%	89/23%

Wanneer er verschillen tussen de overgangstabellen ontstaan zijn deze waarschijnlijk eerder toe te schrijven aan verschillen tussen opgaven dan aan verschillen tussen benadering van problemen door de studenten. Bij de opgaven van blok 2 moet vaker een probleemtransformatie toegepast worden dan bij de opgaven uit blok 9, terwijl in dat laatste blok vaker deelproblemen opgesteld worden, omdat de opgaven uit blok 9 iets gecompliceerder zijn dan die uit blok 2.

2.5 Conclusies en discussie

2.5.1 Geen effect van de instructie probleemaanpak

Uit de resultaten blijkt dat de verwachting dat studenten onder invloed van de IPA oplosgedrag conform de experimentele strategie gingen vertonen niet uitkwam. Tabel 2.4 illustreert overduidelijk dat de experimentele groep en de controlegroep na de extra instructie (IPA) voor de experimentele groep niet verschillen in mate van afwijking van de experimentele strategie. Tabel 2.6 laat zien dat het oplosgedrag van de studenten uit de experimentele groep voor en na de IPA in even grote mate afwijkt van de experimentele strategie. Het verschil tussen blok 2 en blok 9 voor de experimentele groep is even groot als het verschil tussen beide beoordelingen uit de betrouwbaarheidsanalyse. Aan dit verschil mag dus geen betekenis worden toegekend. Als conclusie moet dan ook gelden dat de IPA de studenten er niet toe gebracht heeft volgens de experimentele strategie te gaan werken.

Deze uitspraak is gebaseerd op gesommeerde gegevens uit de Tabellen 2.4 en 2.6. Het is interessant uit de overgangstabellen van Overzicht 2.2 en Overzicht 2.3 andere gegevens te lichten.

De fase oplossingsroute is een wezenlijk onderdeel van de experimentele strategie. In veel onderzoek (bijvoorbeeld Larkin, 1976) komt het ontbreken van een expliciete oplossingsroute als kenmerkend voor het oplosproces van een beginner naar voren. Tabel 2.7 geeft het percentage oplossingsroute per conditie voor elke groep zoals dat uit Overzicht 2.3 gehaald kan worden.

Tabel 2.7

Percentage oplossingsroute

	<u>Blok 2</u>	<u>Blok 9</u>
CONTR.	3.8	5.5
EXP.	5.0	6.8

De fase oplossingsroute komt vaker voor in blok 9 dan in blok 2. Die toename is evenwel even groot voor de experimentele groep als de controlegroep en kan dus niet aan de IPA toegeschreven worden.

Een ander beeld ontstaat echter wanneer de fase oplossingsroute gesplitst wordt in O1, het zoeken naar een oplossingsweg en O2, het opstellen van een oplossingsroute.

Tabel 2.8 geeft per groep en conditie het aantal opgaven dat daarin gemaakt werd, het aantal maal dat de fasen O1 en O2 voorkwamen en daarbij het percentage O1 en O2 t.o.v. het aantal opgaven.

Tabel 2.8

Oplossingsroute gesplitst in O1 en O2 bij de controlegroep en de experimentele groep

	Aantal Opgaven	O1	%	O2	%
CONTR. BLOK 2	25	6	24	3	12
CONTR. BLOK 9	24	10	42	4	17
EXP. BLOK 2	38	11	29	8	21
EXP. BLOK 9	40	12	30	16	40

Het lijkt verantwoord op grond van de gegevens uit Tabel 2.8 te veronderstellen dat de IPA toch enig effect gehad heeft. Het aantal maal dat een oplossingsroute werd opgesteld (O2) is het hoogst in blok 9 voor de experimentele groep. Bij deze toch al niet zo sterke conclusie moet ook nog eens in ogenschouw genomen worden dat de betrouwbaarheid van de protocolanalyse op het nivo van subcategorieën niet bevredigend was.

Aangezien de IPA niet tot gevolg heeft gehad dat minder van de experimentele strategie afgeweken werd is het tweede deel van de vraagstelling, 'gaan studenten door het volgen van de experimentele strategie betere resultaten halen', niet meer te toetsen. Toch is het interessant de resultaten van beide groepen tegenover elkaar te zetten. Daarbij is steeds, net als bij de analyse van de protocollen als antwoord het eerste antwoord van de student genomen. De (uiteindelijk) tentamenresultaten zijn dus hoger. In Tabel 2.9 staat het percentage goede antwoorden en tussen haakjes het aantal opgaven waarop dit betrekking heeft.

Tabel 2.9

Percentage goede oplossing en aantal opgaven in de controle en de experimentele groep

	Blok 2	Blok 9
CONTR.	32% (25)	38% (24)
EXP.	39% (38)	38% (40)

De resultaten verschillen voor de verschillende groepen nauwelijks, slechts de controlegroep scoort iets lager in blok 2. Bij deze aantallen opgaven is dit echter een niet interpreteerbaar verschil. Deze resultaten zijn dus conform de conclusie dat de IPA geen effect heeft gehad, naast de IPA was het onderwijs voor de experimentele groep en de controlegroep gelijk. Ook het feit dat de experimentele groep door het volgen van de IPA meer tijd besteed heeft aan het vak (wanneer zij die tijd tenminste niet afgetrokken hebben van de tijd die zij aan de SPS-cursus besteedden) heeft klaarblijkelijk geen invloed op de resultaten gehad.

2.5.2 Waarom heeft de IPA geen invloed op het oplosgedrag gehad?

De IPA heeft duidelijk geen vruchten afgeworpen. Twee oorzaken, die nauw met elkaar verweven zijn, kunnen hiervoor mogelijk verantwoordelijk zijn. Ten eerste kan de IPA zelf te kort zijn geweest, waardoor de studenten de experimentele strategie niet hebben leren gebruiken. Ten tweede kan de experimentele strategie te zeer ingedruist hebben tegen wat de studenten gewend waren te doen.

De IPA werd gegeven in zes bijeenkomsten. Om uitwisseling van gegevens tussen studenten uit verschillende groepen te bemoeilijken werd de experimentele strategie niet op schrift ter beschikking gesteld maar mondeling onderwezen. Dit kan tot gevolg hebben gehad dat de studenten de gewone oefen-opgaven uit het oefenboek bij de cursus op hun eigen manier hebben opgelost. De invloed van de IPA op het oplosgedrag wordt dan kleiner. Bovendien hebben niet alle studenten uit de experimentele groep alle bijeenkomsten van de IPA bijgewoond. Twee studenten hebben slechts drie resp. vier keer de bijeenkomsten bezocht.

De instructie moet des te indringender zijn naarmate de gewoonten van studenten sterker ingeworteld zijn. Een sterke gewoontevorming van studenten kan het falen van de IPA mede helpen verklaren. Een ondersteuning voor deze veronderstelling kan gevonden worden in de opmerkelijke overeenkomsten in de Tabellen 2.3 t/m 2.6. Als alternatieve verklaring voor deze vrij grote overeenkomsten kan nog geopperd worden dat de frequenties van de overgangen van AO naar A en van U naar V hiervoor verantwoordelijk zijn. Deze overgangen (aan het begin en het eind van het oplosproces) zijn min of meer logisch voorkomend. Andere frequenties zouden wel eens 'verdrongen' kunnen zijn in de hoge frequenties van deze twee cellen. De Tabellen 2.10 en 2.11 geven de percentages overgangen (uit Overzicht 2.3) weer wanneer deze twee cellen buiten beschouwing worden gelaten.

Tabel 2.10 en 2.11

Percentages overgangen zonder A0-A en U-V

Tabel 2.10 Blok 2

Tabel 2.11 Blok 9

	STRAT.	OVERSL.	TERUG		STRAT.	OVERSL.	TERUG
CONTR.	38	36	26	CONTR.	39	34	27
EXP.	38	34	28	EXP.	37	36	27

Ook nu weer is er een opmerkelijke overeenkomst tussen groepen studenten en condities. Deze gelijkvormigheid wordt ook nog eens benadrukt door de meer gedifferentieerde gegevens uit Overzicht 2.2 en Overzicht 2.3. Alle overgangstabellen geven een zelfde patroon in de overgangen te zien. Dit patroon komt ook terug in Overzicht 2.4 (blz. 82) waarin de percentages per kolom te zien zijn. Hier kan men dus aflezen in hoeveel procent van het totaal aantal keer dat men uit een fase vertrekt dit naar een bepaalde andere fase is. Het totaal percentage is voor elke kolom dus telkens honderd (afwijkingen zijn ontstaan door afrondingen). Onder elke kolom staat telkens het totaal aantal stappen vermeld dat voor deze kolom geldt. Dit is gedaan om de vermelde percentages in een juist perspectief te kunnen zien.

De 'kick and rush' strategie

Uit de overgangstabellen kan de strategie die de studenten in het algemeen volgden afgeleid worden. Deze strategie is als volgt:

Na het probleem gelezen te hebben wordt het probleem geanalyseerd. Veelal vindt de analyse in eerste instantie niet juist of in onvoldoende mate plaats want verderop in het oplosproces moet nog wel eens teruggekeerd worden naar de analysefase. Vanuit de analysefase worden kernbetrekkingen opgesteld waarna er gerekend gaat worden. Dit leidt vaak niet tot het gewenste resultaat zodat er teruggekeerd moet worden naar de analysefase of er een nieuwe kernbetrekking gekozen wordt, waarna het spel opnieuw kan beginnen. Wanneer een oplossingsroute wordt opgesteld, gebeurt dit meestal pas wanneer de directe manier van oplossen geen resultaten oplevert. Ook de hoge frequentie van A naar 0 wordt voor een groot deel veroorzaakt door 'spijtoptanten'. Deelproblemen worden na het opstellen van de oplossingsroute gekozen of ook zeer vaak na de analysefase. Dit betekent waarschijnlijk dat men iets ziet waarvan men weet dat het uitgerekend kan worden en dat men dat dan ook gaat doen zonder zich te realiseren of dit noodzakelijk en/of zinvol is. Ook het grote aantal teruggangen van DP naar KB kan hiermee in verband staan. Pas nadat het deelprobleem is gekozen worden kernbetrekkingen gezocht waarmee het opgelost kan worden. Er vinden vrij vaak controles plaats. Daarbij moet echter aangetekend

A. Controlegroep, blok 2

V		2					40	43						
K			2				10		100					
U		16	52	11	24	62		41						
PT		7	24	22	14		2							
DP		13	11	33			10							
O	4	11	3											
KB		47					2							
A	96				5		2							
	AO	A	KB	O	DP	PT	U	K	V					
	AO	4	2											
		29	A	7	22	19	10	10						
				48	KB	11	39	24	17	14				
						46	O		4					
								9	DP	5	2			
									21	PT	2			
										21	U			
												52	7	5

B. Controlegroep, blok 9

V		4						20	50	
K		2						15		100
U		15	58		38	61				
PT		6	18		8			4		
DP		17	6	50				27	17	
O	3	12	8						17	
KB	14	37							2	
A	83									17
	AO	A	KB	O	DP	PT	U	K	V	
	AO	8	2							
		29	A	8	36	16	11	20		
				52	KB	14	38	22	15	
						50	O	6	2	
								14	DP	
									32	PT
										2
								18	U	

C. Experimentele groep, blok 2

V	1						40	13						
K							10		53					
U	2	14	51	6	41	58		44						
PT		11	25		12									
DP		16	7	15				9						
Q	2	11	6											
KB	5	39												
A	91							3						
	AQ	A	KB	O	DP	PT	U	K	V					
	AO	6							7					
		43	A	12	35	6	16	11	31					
			11	KB	24	41	16	20	13					
						69	Q		5					
								17	DP	14				
									32	PT	3			
										11	U			
												80	9	15

D. Experimentele groep, blok 9

V								31	50	
K								13		73
U		23	62	16	30	38			13	18
PT		4	8	6	2					
DP	5	11	9	44		8	15	14		
O	2	14	5							
KB	7	47						1		
A	86					7		2		
	AO	A	KB	O	DP	PT	U	K	V	
	AO	1	1							
42		A	10	20	5	8	17			9
				74	KB	12	57	23	16	25
						86	O	20	5	
								25	DP	
									44	PT
									17	U

Overzicht 2.4. Overgangen tussen fasen, percentages per kolom.

worden dat dit controles zijn die plaatsvinden omdat men een fout constateert of omdat het gevonden antwoord niet bij de alternatieven staat. Ook deze laatste opmerking schetst evenwel geen eerlijk beeld. Veel studenten zijn gewoon om nadat zij alle opgaven uit de toets gemaakt hebben alles nogmaals te controleren. Dit is niet op de band opgenomen. Dit zijn dan voornamelijk controles die een herhaling van de uitwerking zijn.

De hier beschreven benadering van het oplossen van problemen komt overeen met het beeld dat in de literatuur van de beginnende probleemplosser wordt gegeven. Vanwege de sterk op het antwoord gerichte manier van werken, zonder zich vooraf te realiseren wat er precies gevraagd wordt en wat daar allemaal voor nodig is, wordt deze strategie hierna ook aangeduid als de 'kick and rush' strategie. Zeer opvallend is het consistente patroon dat in alle overgangstabellen optreedt. Dit leidt tot de conclusie dat studenten (aan het begin van de studie) een stereotype en zwaar verankerde strategie voor het oplossen van problemen hebben. Het is zeer moeilijk deze in korte tijd te doorbreken met een extra instructie zoals die in dit onderzoek gegeven werd.

Al met al kan gesteld worden dat een indringender instructie nodig is om studenten de experimentele strategie aan te leren en hen ertoe te brengen deze te gebruiken. In het onderzoek werd gemeten bij toetsen die meetelden voor de studieresultaten. Dit kan studenten ertoe brengen het zekere voor het onzekere te nemen en die strategie te gebruiken die zij gewend waren. Sommige studenten merkten achteraf op dat zij pas wanneer zij er niet uitkwamen erover na gingen denken 'hoe het nu ook alweer precies moest'. Een andere kwestie is of de strategie zoals hier gedoceerd een belangrijke rol kan spelen bij het bereiken van een goede oplossing. Met andere woorden 'is de experimentele strategie inderdaad een goede strategie' en 'in hoeverre wordt het belang van een strategie overschaduwd door het belang van de andere drie componenten uit het kennisrepertoire?' (zie par. 1.3.3). Een verkenning van deze problematiek vindt plaats in de volgende paragraaf.

2.5.3 De waarde van de experimentele strategie

Op grond van de resultaten van het onderhavige onderzoek valt niet op te maken of de experimentele strategie uit dit onderzoek een bruikbare en goede strategie is. Immers, de experimentele groep maakte geen gebruik van deze strategie. Wanneer de IPA wel effectief was gebleken, en de experimentele groep dus meer volgens de strategie was gaan werken, had een vergelijking van de resultaten van de controle-groep en de experimentele groep een uitspraak over de waarde van de onderwezen strategie mogelijk gemaakt. Door te kijken of bij goede oplossing meer dan bij foute

oplossingen (spontaan) een strategie gehanteerd wordt die lijkt op de experimentele strategie kan toch wel iets gezegd worden over de waarde van de experimentele strategie.

Overzicht 2.5 (blz. 85) geeft voor blok 2 en blok 9 overgangstabellen gesommeerd voor goede en voor foute oplossingen afzonderlijk. De Tabellen 2.12 en 2.13 geven weer de samenvattingen van de overgangstabellen uit Overzicht 2.5 (de percentages zijn na de schuine streep vermeld en voor de schuine streep zijn de bijbehorende frequenties opgenomen).

Tabel 2.12

Samenvattende frequenties en percentages overgangen voor Blok 2, gesplitst in goede en foute oplossingen

	<u>STRATEGIE OVERSLAAN</u>		<u>TERUG</u>	<u>N-STRAT.</u>
GOEDE OPL.	100/52%	53/28%	39/20%	92/48%
FOUTE OPL.	201/49%	115/28%	93/23%	208/51%

Tabel 2.13

Samenvattende frequenties en percentages overgangen voor Blok 9, gesplitst in goede en foute oplossingen

	<u>STRATEGIE OVERSLAAN</u>		<u>TERUG</u>	<u>N-STRAT.</u>
GOEDE OPL.	129/48%	78/29%	61/23%	139/52%
FOUTE OPL.	176/46%	115/30%	89/23%	204/54%

De totaalindruk zoals die uit de Tabellen 2.12 en 2.13 ontstaat is dat er geen verschillen in afwijking van de experimentele strategie gevonden kunnen worden tussen goede en foute oplossingen, noch in blok 2 noch in blok 9. Dit betekent dat studenten die een goede oplossing produceren in ieder geval niet meer volgens de in de IPA gedoceerde experimentele strategie werkten dan zij die een foute oplossing geven. Hiermee is uiteraard niet gezegd dat de experimentele strategie slecht is of geen waarde kan hebben voor het oplossen van problemen. Het kan uiteraard zo zijn dat in sommige gevallen het gebruik van de experimentele strategie er voor kan zorgen dat wel een oplossing bereikt wordt, waar het met de strategie zoals de studenten die hanteren niet was gelukt. Wel is in dit experiment aangetoond dat het volgen van de experimentele strategie zeker geen noodzakelijke of zelfs belangrijke voorwaarde is om een juiste oplossing te verkrijgen.

A. Goede oplossingen, blok 2

V							12,0	0,5	
K							3,1		0,7
U		2,1	10,4		3,7	5,2		2,1	
PT		1,1	4,7				0,5		
DP		2,6	1,6	0,5			1,0		
O	0,5	1,6	0,5						
KB	1,0	7,2							
A	1,5								
AO	A	KB	O	DP	PT	U	K	V	
AO	1,0								
A	2,1	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5			
KB	1,0	2,6	1,6	4,7	0,5				
O									
DP		1,0	0,5						
PT			0,5						
U									

B. Goede oplossingen, blok 9

V							4,0	1,9	
K		0,4					4,5		1,5
U		3,4	12,7	0,8	5,2	1,5			0,8
PT		0,4	2,2	0,4	0,4				
DP	0,4	2,2	2,2	3,0			4,5	0,8	
O		3,4	1,1						
KB	0,0	7,5					0,4		
A	9,3						0,4	0,4	0,4
AO	A	KB	O	DP	PT	U	K	V	
AO	0,8	0,8							
A	1,1	0,8	1,1	1,1	3,4				
KB	1,5	6,0	0,4	3,4	0,4				
O			0,8	1,1					
DP									
PT			0,4						
U									

C. Foute oplossingen, blok 2

V		0,5					7,3	1,2	
K			0,2				1,7		2,9
U	0,2	3,2	9,5	0,5	2,7	5,1		0,7	
PT		1,2	4,7	0,5	1,7				
DP		2,9	1,7	2,0			2,4		
O	0,2	2,7	1,0						
KB		8,3					0,2		
A	10,7						0,2	0,7	
AO	A	KB	O	DP	PT	U	K	V	
AO	1,0	0,2						0,2	
A	1,7	1,5	1,0	1,2	2,9				
KB	0,7	3,9	1,7	3,9	0,2				
O						1,5			
DP			0,5						
PT				0,5					
U									

D. Foute oplossingen, blok 9

V		0,5					6,6	0,5	
K							1,8		1,6
U		4,2	12,0	0,5	2,9	3,2		0,3	
PT		1,3	2,6	0,3	0,8		0,5		
DP	0,3	2,9	1,3	2,6		0,3	3,4		
O	0,5	1,8	2,4					0,3	
KB	1,3	9,0					0,3		
A	9,3					0,5	0,3		
AO	A	KB	O	DP	PT	U	K	V	
AO	0,0								
A	2,5	2,1	1,1			4,5		0,3	
KB	0,3	5,5	1,6	3,4	0,3				
O			0,5	0,5					
DP									
PT									
U									

Overzicht 2.5. Overgangen tussen fasen gesommeerd voor goede en foute oplossingen, percentages van het totaal.

2.5.4 Het relatieve belang van strategiegebruik

Een nauw met de vorige paragraaf samenhangende vraag is die naar het relatieve belang van strategiegebruik. Met andere woorden: in hoeverre hebben Reif et al. (1976) gelijk wanneer zij stellen dat het ontbreken van een goede strategie vaak een oorzaak zou zijn voor het niet juist oplossen van problemen ondanks het aanwezig zijn van een goede meer vakinhoudelijke kennis?

In het onderhavige onderzoek werd een vrij algemene strategie onderwezen. Andere componenten van het kennis repertoire (kennis van probleemsituaties, declaratieve en procedurele kennis) zijn meer vakinhoudelijk bepaald dan deze strategie (zie par. 1.3.3). Enige indruk van de waarde van strategiegebruik in het algemeen kan verkregen worden door na te gaan of er bij goede en foute oplossingen verschillende strategieën gebruikt worden. Overzicht 2.6 (blz. 87) geeft het percentage per kolom bij sommatie over goede en foute oplossingen voor blok 2 en blok 9. Onder elke kolom staat wederom het totaal aantal stappen in die kolom, dit om de percentages in het juiste perspectief te zien.

De strategie die de studenten volgden is wederom opmerkelijk constant, ook bij een tweedeling in goede en foute oplossingen. Verschillen tussen de overgangstabellen worden waarschijnlijk veroorzaakt door verschillen in de opgaven waar zij betrekking op hebben (zie par. 2.4.1). Het verschil tussen het bereiken van een goede of foute oplossing wordt niet veroorzaakt door een verschil in strategiegebruik maar is in het algemeen slechts te herleiden tot het al dan niet optreden van vakinhoudelijke fouten of omissies in de oplossing. Aan deze vakinhoudelijke fouten en omissies is aandacht besteed in Ferguson-Hessler & De Jong (1983a; 1983b).

Bovenstaande conclusie betekent niet dat het niet uitmaakt welke strategie er gebruikt wordt. Verondersteld wordt dat bij gelijke kennis van de vakinhoud verschillen in strategie wel een rol kunnen spelen bij het al dan niet goed oplossen van een probleem. Wel kan gesteld worden dat het kennisniveau van de vakinhoud eerder een knelpunt is (op dit niveau van onderwijs) dan het strategiegebruik van de studenten. Andere kennis dan strategische kennis speelde in dit onderzoek een ondergeschikte rol (zie paragraaf 2.2.5). Toekomstig onderzoek zal daarom in eerste instantie op de meer vakinhoudelijke kenniscomponenten gericht moeten zijn.

2.5.5 Adaptief strategiegebruik

Experts maken vaker gebruik van planning dwz. het opstellen van een oplossingsroute dan beginners (Elshout, 1984). Ook blijken goed presterende beginnende studenten hun oplossing beter en gedetailleerder te plannen dan zwakke beginners (Pinegold

A. Goede oplossingen, blok 2

V						51	14	
K						13		100
U		11	54		50	59		57
PT		17	24				2	
DP		14	8	20			4	
O	4	9	3					
KB	8	42						
A	88							
AO	A	KB	O	DP	PT	U	K	V
AO	6							
25	A	11	40	14	12	4	14	
15	KB	40	36	18	20	14		
37	O							
5	DP	12	2					
14	PT	2						
17	U							
42	7							

B. Goede oplossingen, blok 9

V						21	56	
K		2				20		67
U		19	63	12	40	40		13
PT		2	11	4	0			
DP	4	13	11	47		20	22	
O		11	6					
KB	7	42				2		
A	89				1	2	11	
AO	A	KB	O	DP	PT	U	K	V
AO	4	4						
20	A	6	12	9	10	15		
48	KB	24	46	10	15	11		
54	O		20	5				
17	DP							
35	PT	2						
10	U							
61	9	6						

C. Foute oplossingen, blok 2

V		2				34	58	
K			2			8		92
U	2	16	50	10	28	60		33
PT		8	24	10	18			
DP		15	9	38			11	
O	2	14	5					
KB		42					1	
A	96					2		
AO	A	KB	O	DP	PT	U	K	V
AO	5	1						8
46	A	9	29	10	14	14		
81	KB	14	41	20	21	11		
78	O					7		
21	DP	6						
39	PT	2						
35	U							
87	9	13						

D. Foute oplossingen, blok 9

V		3				11	40	
K						9		86
U		21	59	36	27	57		20
PT		6	12	5	7		2	
DP	2	14	6	40		5	16	
O	5	9	11				20	
KB	12	44					1	
A	84				5	1		
AO	A	KB	O	DP	PT	U	K	V
AO	4							
43	A	12	36	10		21		14
78	KB	5	31	20	16	20		
82	O		10	2				
29	DP							
41	PT							
21	U							
81	5	7						

Overzicht 2.6. Overgangen tussen fasen gesommeerd voor goede en foute oplossingen, percentages per kolom.

& Mass, 1985). Het is daarom interessant om ook bij de tweedeling foute en goede oplossingen de fase oplossingsroute eruit te lichten zoals ook in paragraaf 2.5.1 gedaan werd. In Tabel 2.14 zijn de percentages oplossingsroute, zoals afgeleid uit Overzicht 2.5 vermeld.

Tabel 2.14

Percentage oplossingsroute voor goede en foute oplossingen

	<u>Blok 2</u>	<u>Blok 9</u>
GOEDE OPL.	2.6	6.4
FOUTE OPL.	5.4	6.0

Opmerkelijk is het lage percentage oplossingsroute voor de goede oplossingen in blok 2. Voor hier dieper op in te gaan wordt nu eerst de opsplitsing naar O1 en O2 gepresenteerd in Tabel 2.15.

Tabel 2.15

Oplossingsroute gesplitst in O1 en O2 bij goede en foute oplossingen

	<u>Aantal opgaven</u>	<u>O1</u>	<u>%</u>	<u>O2</u>	<u>%</u>
GOEDE OPL. BLOK 2	23	2	9	3	13
GOEDE OPL. BLOK 9	24	8	33	9	38
FOUTE OPL. BLOK 2	40	15	38	8	20
FOUTE OPL. BLOK 9	40	14	35	11	28

De verwachting dat bij goede oplossingen de fase O2 (het vaststellen van de oplossingsroute) vaker zou voorkomen en bij foute oplossingen de fase O1 (het zoeken naar een oplossingsroute) meer frequent zou zijn, wordt door deze data in zekere mate bevestigd. Voor de goede orde moet opgemerkt worden dat ook een vakinhoudelijk foute O1 of O2 gewoon als O1 of O2 bij de analyse van de protocollen opgenomen zijn. Hierbij geldt overigens weer dezelfde kanttekening over de betrouwbaarheid van de protocolanalyse op subcategorieën nivo, die ook eerder gemaakt werd.

Voor de gegevens uit de Tabellen 2.14 en 2.15 is in combinatie met de gegevens uit Overzicht 2.5 een plausibele, zij het enigszins speculatieve verklaring te geven. Op de eerste plaats valt het op (zie Overzicht 2.5) dat de fase oplossingsroute in zeker drie van de vier overgangstabellen vrij vaak laat in het oplosproces voorkomt, van A

naar O (deze sequentie vindt meestal plaats na een eerdere terugkeer naar A) of van U naar O. (In overgangstabel D, de foute oplossingen in blok 9, is hier niet zo duidelijk sprake van, hoewel het verschijnsel daar ook optreedt). Dit geeft steun aan de veronderstelling dat studenten het maken van een oplossingsroute als 'redmiddel' zien. Zoals eerder in dit rapport beschreven merken studenten vaak op dat 'je pas gaat kijken hoe het ook al weer moet als je er niet meer uitkomt'. Men probeert het dus eerst zonder oplossingsroute.

Bij de, relatief weinig complexe, problemen van blok 2 kan dit snel tot succes leiden. Voorwaarde is dan wel dat men de vakinhoud zeer goed beheerst. Een dergelijk verschijnsel vinden we ook bij Chi et al. (1982). Zij beschrijven dat experts bij simpele problemen een 'working forward' strategie hanteren waarbij geen expliciete doelanalyse en planning plaatsvindt. Als een van de mogelijke interpretaties van dit verschijnsel noemen de auteurs dat experts geen complexe planning nodig hebben, zij bezitten routines die zij direct op het probleem kunnen toepassen. Wanneer problemen meer complex worden gaan experts weer wel gebruik maken van planning (Chi et al. 1982, blz. 19). Ook bij Schoenfeld (1983) werd een dergelijk verschijnsel geconstateerd.

Parallel aan dit door Chi et al. geconstateerde verschijnsel is dat bij de goede oplossingen in blok 9 meer gebruik gemaakt wordt van een oplossingsroute dan bij de goede oplossingen uit blok 2. De problemen uit blok 9 zijn in het algemeen complexer van aard, bevatten meer deelproblemen, dan de problemen uit blok 2.

Bij de goede oplossingen in blok 9 wordt de complexiteit van het probleem echter niet altijd onmiddellijk herkend. Berst wordt ook hier getracht het probleem op een directe wijze op te lossen. Pas wanneer dit faalt wordt het zoeken naar en maken van een oplossingsroute uitgevoerd. Hierin onderscheiden de studenten uit dit onderzoek zich van de experts.

Het zal duidelijk zijn dat het zoeken naar en maken van een oplossingsroute slechts dan zinvol is wanneer het het oplossen van complexe problemen betreft en wanneer de oplosser goede vakinhoudelijke kennis van het onderwerp bezit. De betekenis van dit laatste werd hier al eerder benadrukt. De eerste constatering kan leiden tot de aanbeveling niet één strategie aan te bevelen en aan te leren maar de nadruk te leggen op adaptief strategiegebruik waarbij de te gebruiken strategie afgestemd wordt op de complexiteit van het probleem (zie ook Malin, 1979).

2.5.6 Oplosstrategie versus instructiestrategie

Aangetoond werd dat ook met een minder systematische aanpak dan de aanpak volgens de in dit onderzoek gebruikte strategie, goede resultaten behaald kunnen worden. Als oplosstrategie lijkt de experimentele strategie daarom niet een vooraan-

staande rol te kunnen spelen.

Toch kan een strategie als deze in de instructie op een andere wijze wel een belangrijke plaats innemen. Zoals Lowe (1982) al aangaf vergroot het gebruik van een expliciete strategie de mogelijkheden tot communicatie. Bovendien kan het gebruik van een expliciete strategie docenten er toe brengen minder vaak cruciale fasen of bewerkingen in voorbeeldoplossingen weg te halen.

2.6 Slotconclusies

Aan het eind van dit hoofdstuk kunnen enkele samenvattende conclusies opgesteld worden.

Ten eerste kan geconcludeerd worden dat een extra instructie met de omvang van de in dit onderzoek gebruikte IPA, het oplosgedrag van studenten in het algemeen gesproken niet zal veranderen. Het geven van dit soort extra instructies in deze omvang is daarom niet aan te bevelen.

Ten tweede is gebleken dat studenten, in de eerste fase van de studie, een vrij stereotyp en constant oplosgedrag vertonen. Dit verklaart mede waarom de IPA, die vrij beperkt van omvang was en naast het gewone onderwijs gegeven werd, het oplosgedrag van de studenten niet kon veranderen.

Ten derde kon de waarde van de in de IPA gedoceerde experimentele strategie niet ondersteund worden door een vergelijking van goede en foute oplossingen. Bij de goede oplossingen werd niet meer volgens de experimentele strategie gewerkt dan bij de foute. Aangenomen kan worden dat het verschil tussen het bereiken van een goede of foute oplossing niet veroorzaakt werd door een verschil in strategiegebruik maar door verschillen in de meer vakinhoudelijke kennis, d.w.z. verschillen in declaratieve kennis, procedurele kennis, en kennis van probleemsituaties en de organisatie daarvan. In het volgende hoofdstuk wordt een onderzoek gepresenteerd dat verschillen tussen goede en zwakke studenten op (de organisatie van) deze kenniscomponenten als onderwerp heeft.

Appendix bij hoofdstuk 2

Het definitieve analyseschema, waarvan de structuur in Figuur 2.2 is weergegeven zag er uiteindelijk als volgt uit:

Beschrijving van de cognitieve eenheden in het analyseschema.

A. Analyse.

A.0. Lezen van de tekst; bekijken van eventuele figuren.

A.1. Situatieleanalyse.

A.1.1. Maken van een schets of tekening; invoeren van een coördinatenstelsel.

A.1.2. Aangeven van relevante gegeven grootheden in de figuur of op andere manier. Het gaat hier om ladingen, stromen, velden, aardverbindingen, etc.

Voorbeeld: - de stroom neemt af

A.1.3. Het vaststellen van relevante kenmerken van de situatie, die niet expliciet gegeven zijn. Hieronder valt o.a. het vaststellen van symmetrie-eigenschappen, het maken van gevolgtrekkingen uit de gegevens, het aangeven van een typering van de situatie.

Voorbeelden: - dat betekent dat hier een spanning over staat.

- die spoel, dan stuurt hij door zichzelf gewoon I_1 , en door de andere stuurt hij pI_1 .
- als je zo'n stroom hebt, dan gaat het B-veld in de $\vec{e}_\phi$ - richting staan.
- dan is hier (in een geleidende plaat) $E = 0$.
- er is een constante snelheid; F_L in het vlak is dan gelijk aan F_Z in het vlak.
- het veld staat in de $\vec{e}_Z$ -richting, dus over EF en DG staat geen inductiespanning.
- q is positief, dus het veld loopt van binnen naar buiten.
- buiten de beide platen is de veldsterkte nul vanwege de negatieve lading die op de geaarde plaat geïnduceerd wordt.
- $I_2 = \text{constant}$, dus die wekt geen inductiespanning op in spoel 1.
- er ontstaat dan een geïnduceerde emk., en dan gaat er hier een stroompje lopen; je krijgt dus een inductiestroom.

A.1.4. Verder analyse na gedeeltelijke oplossing of oplossingspoging. Deze denkstap wordt uitgevoerd omdat gedurende de uitwerking van het probleem behoefte ontstaat om de gegeven situatie nader te analyseren, bijvoorbeeld om na te gaan of een gegeven grootte aan bepaalde voorwaarden voldoet. Wanneer aangenomen kan worden dat deze behoefte in de eerste analysefase voorzien had kunnen worden, moet deze denkstap niet als A.1.4. maar als A.1.2. of A.1.3. gescoord worden.

Voorbeelden: - is de flux overal constant? Bepaald niet, dat is de magnetische inductie, en die is niet overal constant.

- even kijken naar de richting van de spoel.
- het oppervlak staat loodrecht op B, dus het inproduct is gewoon EA.

A.2. Doelanalyse.

- A.2.1. Het gevraagde aangeven in figuur en/of vaststellen van de kenmerken (in E&M termen) van het gevraagde.

Voorbeelden: - er wordt dus gevraagd naar de spanning tussen D en E.

- de energie, die zit hem in de stroom hier en in een of andere magnetisatie in de buis.

- A.2.2. Het formuleren van schattingen en/of verwachtingen t.a.v. het gevraagde, zoals het vergelijken hiervan met gegeven grootheden, of het aangeven van teken of richting.

Voorbeelden: - H moet een y-component hebben, $\vec{B}$ dus ook in het ferriet.

- de oppervlaktelading is negatief, en numeriek is die groter dan σ_1 (uit de voorbeeldoplossing).
- op grond van deze symmetrie zullen de sigma's van de twee vlakken (het gevraagde) gelijk zijn.
- buiten de platen is het veld nul.
- de veldlijnen lopen naar buiten; die moeten opgevangen worden, dus er moet een negatieve lading zijn.

- A.2.3. Het (voorlopig) elimineren van niet acceptabele alternatieven. Deze eliminatie is gebaseerd op een vergelijking van de gegeven antwoordalternatieven met elkaar en met de gegevens of met resultaten uit de analysefase.

Voorbeelden: - binnen een geleidende bol is het veld nul, dus antwoord 2 valt af.

- de flux is in ieder geval niet gelijk aan nul, want die staat overal naar buiten.
- binnen in een geleider is het veld nul, dus alleen alternatieven 1 en 2 komen in aanmerking.
- buiten de platen is het veld nul, dus ik heb nu de vier antwoorden gereduceerd tot alternatief 3 en alternatief 4.
- buiten $r = 3a$ is $Q_{oms1} = \text{const.}$, dus $\Psi = \text{const.}$; dat sluit antwoord 3 en 6 uit.

- A.2.4. Zoeken in de antwoorden naar een richtlijn voor de oplossing, terwijl een resultaat of schatting nog ontbreekt.

Voorbeelden: - even kijken naar de antwoorden een integraal zal er wel inzitten ja dat kan natuurlijk.

- ze hebben allen $q/4\epsilon_0 \pi r^2$ t.g.v. de binnenste bol plus iets t.g.v. de ruimte- lading.

KB. Kernbetrekkingen.

- KB.1. Opstellen van (te gebruiken) kernbetrekkingen. De oplosser introduceert in zijn oplosproces een kernbetrekking. Dit kan ook impliciet gebeuren. Wanneer de introductie expliciet plaats vindt, kan de kernbetrekking in woorden of in de vorm van een formule gepresenteerd worden.

Zeer eenvoudige bijvoorbeeld wiskundige formules, zoals het oppervlak van een bol, worden niet tot de Kb's gerekend.

- Voorbeelden: - dat kun je berekenen met de wet van Gauss.
- de loodrechte component van het B-veld is continu.

KB.2. Vaststellen van de geldigheid van (voorlopig) gekozen kernbetrekkingen in de gegeven situatie. Vaak zal Kb.2. opgenomen zijn in Kb.1., daar men een kernbetrekking kiest op grond van de situatie. Kb.2. is gereserveerd voor het expliciet nagaan of de juiste condities aanwezig zijn.

Voorbeelden: - er is geen vrije lading op dat oppervlak, ρ_n is dus continu.

- $a \gg b$, dat wil dus zeggen dat ik het veld van een lange draad mag gebruiken.
- maar je hebt geen oneindige draden
- maar B is niet constant, dus die wet is niet van toepassing (over $\Phi = BA$).

O. Oplossingsroute.

O.1. Maken van algemene plannen, aangeven van mogelijke oplossingsmethoden, zoeken naar deelproblemen, bekijken van een speciaal geval. Hierbij kan gebruik gemaakt worden van de in Kb.1. geselecteerde kernbetrekkingen.

Voorbeelden: - dat kun je berekenen met een spiegelbeeldlading.

- ik zal het veld in twee symmetrische punten bekijken.
- ik stel dat die op cirkeltje I ligt, dan heb ik
- als ik de totale lading in een punt mag denken, dan hoef ik alleen Q_{omsloten} te berekenen - maar ρ is niet homogeen - dus ik zal moeten oppassen.
- ik kan veronderstellen, dat er een stroom loopt met als gevolg een flux - maar laat ik dat maar niet doen.

O.2. Vaststellen van deelproblemen en oplossingsroute, d.w.z. de volgorde, waarin de deelproblemen zullen worden opgelost om tot het eindresultaat te komen.

Voorbeelden: - er werkt een Lorenzkracht, en die is $\vec{F}_L = l(\vec{I} \times \vec{B})$, en l is de inductiestroom; die is ϵ_{ind}/R , en ϵ_{ind} dat was die

- $vB \sin \alpha \cdot l$ - kijken of ik er zo uit kom.
- als je met Laplace het veld van die winding uit rekent in P , dan weet je $M = \Phi_{\text{tot}}/I_2$

DP. Deelproblemen.

Kiezen van een (deel-)probleem, dat direct wordt aangepakt. Dit hoeft niet expliciet te gebeuren. Als in O.2. al de oplossingsroute is vastgesteld, zal deze denkstap vaak impliciet gebeuren.

- Voorbeelden: - nu kunnen we het B -veld in koper bepalen.
- nu moet ik ze gaan vergelijken buiten.
 - H -ontmagnetiseerd, eens kijken.
 - dan kan ik nu uitrekenen de veldsterkte.

PT. Probleemtransformatie.

Het begrip probleemtransformatie is een samenvatting van alle denkstappen tussen aan de ene kant het afbakenen van het (deel-)probleem en het kiezen van de toe te passen kernbetrekking(en), en aan de andere kant het uitvoeren van standaardwerkingen. Het opsplitsen van het oorspronkelijke probleem in deelproblemen valt onder O en is dus geen probleemtransformatie. Een probleemtransformatie kan verschillende vormen hebben:

- 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 uit de KB door 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 oppervlactestroom gepakt zal worden.
 - kringintegraal $B_z ds$; 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.
 - Q_{oms1} is dan de lading op de bol plus de ruimtelading.
- PT.2. Het interpreteren van de situatie in termen van de gekozen kernbetrekking.
- Voorbeelden: - zeg dat de stroom die kant op loopt, dan heffen die stukjes elkaar op, en die kleine stukjes zijn te verwaarlozen.
 (Kb: $M = \Phi_2 / I_1$)
- PT.3. Het vervangen van het oorspronkelijke probleem of een deelprobleem door een ander, fysisch gelijkwaardig, probleem of problemen.
- Voorbeelden: - dat stel platen, dat gedeeltelijk in water is gedompeld, kun je beschouwen als twee parallel geschakelde condensatoren.
 - ik plaats de hele lading, Q_{bol} en Q_{ruimte} in het middelpunt, dan hoef ik alleen maar Q_{oms1} uit te rekenen.
 - de flux door dit vlak is tegengesteld aan de som van de fluxen door deze twee vlakken (samen vormen ze in een 2-dim.probleem een gesloten oppervlak), want er is geen lading aanwezig, want E hangt niet van x en y af.
 - als we de ene helft (van een draadraam) omklappen, dan zou je zoiets krijgen (schets). Dan zouden ze (de fluxen) van elkaar kunnen aftrekken en dat is dan nul.
- PT.4. Het (technisch) opdelen van een (deel-)probleem in subproblemen, waarop een standaardbewerking direct kan worden toegepast. De uitwerking van de subproblemen is voor elk subprobleem in principe gelijk, en de samenvoeging van de deelresultaten is een eenvoudige rekenkundige bewerking. Deze opsplitsing onderscheidt zich duidelijk van de onder 0.2. ingevoerde denkstap "formuleren van een fysisch deelprobleem".
- Voorbeelden: - ik moet de energiedichtheid integreren van 0 naar 13,5; dan ga ik weer splitsen in een integraal van 0 tot 5 met $\mu_r = 1$ plus een integraal van 5 tot 13,5 met μ_r is ongelijk 1
 - ik moet de flux hebben door de kubus. Dan bekijk ik de zijvlakken één voor één.
- U. Uitwerking.
- U.1. Het uitvoeren van standaardbewerkingen, zoals algebraïsch en numeriek rekenwerk, integreren, differentiëren, eenvoudig invullen van gegevens in de kernbetrekking, het maken van een tekening

t.b.v. de uitwerking van een formule (bijvoorbeeld om hoeken te bekijken).

- Voorbeelden: - dus ik integreer vanaf r . Dat is
- H loodrecht is gelijk aan B gedeeld door μ_0
 - Dat is dus 1000 A/m .

U.2. Vaststellen van het resultaat van U.1. en integratie in de totale oplossingsroute. Hieronder valt ook een eerste evaluatie van het resultaat van U.1.

- Voorbeelden: - dat is dan (formule). Ja, dat is goed, dat is de ene, de andere
- dan zou dit het antwoord moeten zijn. Het ziet er zo simpel uit. Ik vertrouw dit niet helemaal.
 - ik zie dat ik weer uitkom op (formule).
 - ik zie toch niets anders, dus rekenen we maar uit $1/32$
 - zo kom ik er niet. Ik moet iets anders proberen.
 - dat kan nooit; r komt er niet in voor, en ik moet $E(r)$ hebben.

U.3. Het (voorlopige) elimineren van antwoordalternatieven op grond van tussenresultaten.

- Voorbeelden: - in dat gebied neemt de flux dus kwadratisch toe, dan vallen een aantal alternatieven af.
- het is de vraag of je (die spanningen) moet optellen of aftrekken. Maar je kunt zowieso nooit een factor $1/2$ of $3/2$ in het antwoord krijgen.
 - $B = \mu_0 \Psi / L$, en $\Phi = BA$, en $A = 2\pi r$ dus er zal een 2π in het antwoord moeten of π , π in ieder geval.

V. Vergelijken.

Hier wordt het eindresultaat vergeleken met de aangeboden antwoordalternatieven.

- Voorbeelden: - nou, het staat erbij. Dus antwoord 4.
- en die staat nergens bij de antwoorden; dan heb ik een fout gemaakt.
 - maar die E ben ik kwijt.
 - het staat er niet bij, maar dat zat er dik in, want ik heb die weerstand niet meegerekend.

K. Controle.

K.S. Vergelijken van het gevonden antwoord met de onder A.2.2. gemaakte schattingen van het antwoord, of met daar geformuleerde verwachtingen t.a.v. het antwoord.

- Voorbeelden: - dat betekent dus, dat op het moment dat die schakelaar gesloten wordt, dan loopt er een stroom van $1A$, en op den duur loopt die spoel leeg, en dan loopt er inderdaad geen stroom meer. Dat klopt uitstekend.
- maar er is een vraagteken bij: dat kan niet negatief zijn.
 - eens kijken, is dat een beetje logisch? dus hij heeft wel een negatieve y -component.

- (na V) r_1 kan niet wegvallen, want Ruimte hangt van r_1 af.

K.D. Controle op de dimensie van het antwoord.

K.O. Controle op de gevolgde oplossingsroute.

Dit is een conceptuele controle achteraf op de logica van de oplossingsroute, de juiste toepassing en eventueel de geldigheid van de kernbetrekkingen.

- Voorbeelden:
- ik wil controleren of het klopt dat je de ruimtelading in het middenpunt mag plaatsen.
 - even kijken waar ik een redeneerfout gemaakt kan hebben om die beide antwoorden eruit te krijgen. Dat is in de keuze van de gaussdoosjes, maar ik denk dat dat goed is.
 - E is afhankelijk van x ; dus dat (de integratie) zal wel kloppen; dan is $x = 0$.

K.U. Controle op de onder U.1. uitgevoerde bewerkingen door meer of minder directe herhaling van dezelfde bewerkingen.

K.M. Controle van het antwoord en/of de methode door toepassing van een nieuwe kernbetrekking.

- Voorbeelden:
- hier buiten is $E = 0$; dan kies ik een boloppervlak, en de totale lading die hij omsluit moet nul zijn Dat klopt.
 - het veld buiten (bedoeld: de ladingen buiten) heeft geen invloed op het veld hierbinnen, terwijl de lading binnen wel het veld beïnvloedt.
 - ik zit nu op antwoord 4. Kijk maar naar de situatie met die andere plaat. Ik pak weer een Gaussdoosje $E_2 = 2E_1$.. dus weer antwoord 4.
 - $x = 0$, was dat te verwachten? Voor een gesloten kring kun je ook de fluxverandering berekenen (om I_{ind} te vinden) en daar komt mooi nul uit. Dus $I = 0$.

K.K. Controle op consistentie van het antwoord.

- Voorbeelden:
- $I(t = \ln 2) = 4A$. Is dat mogelijk? Ja, het is wel redelijk, want bij $t = 0$ is $i = 0$ en voor $t = \infty$ is $I = 8A$ hebben we gezien. I moet groeien, dus dat ziet er goed uit.
 - dus $M = L$, klopt dat? Ja, want ze zijn maximaal gekoppeld, dus hij veroorzaakt even veel flux door de andere als door zichzelf.

G. Gissen.

Het op grond van niet fysieke argumenten elimineren van niet acceptabele antwoorden, en het gokken op een van de overgebleven antwoorden. In tegenstelling tot A.2.3. en U.3. is dit een denkstap, die op onmacht berust, en gebruikt wordt bij gebrek aan beter. Men neemt vaak zijn toevlucht tot gissen, als de vergelijking in vorige denkstap een negatief resultaat oplevert.

- Voorbeelden:
- ... we iets moeten zoeken met ... (formule). Ja, dat zie ik staan. Ik kan het niet helemaal verklaren, maar volgens mij is dat het antwoord.
 - ik zal moeten gokken. Ik zat aardig in de goede richting, alleen die factor $1/x$... nu, het zal dan wel 2 zijn.

3 De organisatie van vakinhoudelijke kennis

3.1 Inleiding

Het onderzoek naar het oplossen van vakinhoudelijke problemen richtte en richt zich nog steeds voor een groot deel op het *proces van oplossen*, met andere woorden de strategie die mensen bij het oplossen gebruiken. Hierbij kan een strategie uiteraard op verschillende nivo's gedefinieerd worden. Het onderzoek dat in hoofdstuk 2 beschreven werd, is een illustratie van dit soort onderzoek. Er is echter een tendens merkbaar waarbij deze onderzoekslijn verlaten wordt en het onderzoek zich verplaatst naar de inhoud en vorm van het meer specifiek vakinhoudelijke kennisrepertoire van probleemoplossers (zie ook Greeno, 1980). Ook op grond van de resultaten van het in het vorige hoofdstuk beschreven onderzoek werd deze conclusie getrokken (zie o.a. 2.5.4). Een volgende logische stap is uiteraard een nadere bestudering van de wijze waarop dit kennisrepertoire bij oplosers tot stand komt, m.a.w. onderzoek naar bestuderingsprocessen (zie bijv. Wouters & De Jong, 1982).

Het onderzoek waarover in dit hoofdstuk verslag wordt gedaan richt zich nog op het kennisrepertoire zelf. Voor het oplossen van problemen is op de eerste plaats de *inhoud* van het kennisrepertoire van belang. Wat een oplosser weet uit een vakgebied bepaalt uiteraard in hoge mate zijn kans op succesvol probleemoplossen. Daarnaast lijkt echter een belangrijke plaats ingeruimd te moeten worden voor de *organisatie of structuur* van de vakinhoudelijke kennis uit het kennisrepertoire. Deze structuur wordt ook de *cognitieve structuur* genoemd. In het in dit hoofdstuk gepresenteerde onderzoek wordt getracht meer inzicht te verkrijgen in de relatie tussen structuur van vakinhoudelijke kennis van eerstejaars studenten en succes of falen bij het oplossen van (tentamen-)problemen.

3.1.1 Aspecten van de cognitieve structuur

Elke vakinhoud heeft een organisatie of structuur. Delen van de vakinhoud zijn geen losstaande feiten maar vertonen samenhang. Tijdens bestudering van de vakinhoud maakt een student zich niet alleen pure feiten eigen maar neemt hij ook in meerdere of mindere mate de samenhang van deze feiten (de structuur van de leerstof) in zich op. De mate waarin en de wijze waarop elementen uit de leerstof in het geheugen van de student verbonden zijn kunnen als graadmeter voor het begrip van de leerstof gezien worden (Shavelson, 1974).

In navolging van Greeno (1978a) meldden Resnick & Ford (1981) drie aspecten van de structuur van kennis in het geheugen, die de mate van begrip van de student bepalen. Dit zijn:

- *interne integratie*: dit is de mate waarin onderdelen van de leerstof in het geheugen aan elkaar gerelateerd en niet geïsoleerd zijn opgeslagen.
- *verbondenheid*: dit is de mate waarin onderdelen van de leerstof verbonden zijn met andere zaken die iemand al weet.
- *correspondentie*: dit betreft de mate waarin een cognitieve structuur (in de meeste gevallen zal het hier de cognitieve structuur van studenten betreffen) overeenkomt met de cognitieve structuur van experts in het betrokken vakgebied.

Van deze drie aspecten van een geheugenstructuur neemt correspondentie een bijzondere plaats in ten opzichte van de andere twee. Wanneer correspondentie van een cognitieve structuur bepaald wordt dan moeten zowel de interne integratie als de verbondenheid van de kennisstructuur in kwestie vergeleken worden met deze zelfde twee aspecten van de cognitieve structuur van (een) expert(s). Correspondentie omvat dus zowel interne integratie als verbondenheid.

Naast de *cognitieve structuur* van een expert kan ook de *structuur van een studietekst* als criterium voor het bepalen van de mate van correspondentie gebruikt worden. Een studietekst behoort immers de neerslag te zijn van de kennis van experts over het in de tekst behandelde onderwerp. Shavelson & Geeslin (1975) behandelen in dat kader de zogenaamde 'digraph' methode waarmee relaties tussen belangrijke concepten in een studietekst in kaart gebracht kunnen worden. Shavelson & Stanton (1975) toonden inderdaad aan dat de kennisstructuur van experts (verkregen via verschillende technieken) over een wiskundig onderwerp, grote overeenkomst vertoonde met de structuur van dit onderwerp zoals met deze digraph methode uit een studietekst verkregen werd. Het zal echter duidelijk zijn dat wanneer een structuur uit een studietekst gehaald wordt het aspect verbondenheid nauwelijks aan bod zal komen en men zich zal moeten beperken tot het bepalen van de interne integratie. Ook een hieruit voortvloeiende meting van de correspondentie zal dan tot dit ene aspect van de structuur beperkt blijven.

Van de onderzoeken die in de rest van dit hoofdstuk aan de orde komen is er een aantal waarin de cognitieve structuur van experts als criterium gebruikt wordt bij de bepaling van de correspondentie. Een beperking van de correspondentie tot een vergelijking van de interne integratie bij experts en studenten is dan in principe niet noodzakelijk. Toch vindt deze beperking plaats bij het onderzoek dat zich van experts bedient (Shavelson & Stanton, 1975; Fenker, 1975; Thro, 1978). De reden voor

deze beperking in het bepalen van de cognitieve structuur is eerder een praktische dan een theoretische. Bij het bepalen van interne integratie kan men zich richten op een afgeperkte, veelal vrij nauw omschreven vakinhoud, namelijk de voorhanden zijnde leerstof, de cursus of iets dergelijks. Wil men zich echter richten op verbondenheid dan kunnen in principe oneindig veel verschillende elementen van buiten de leerstof in de structuur opgenomen worden.

3.1.2 Onderzoek naar de structuur van vakinhoudelijke kennis

Er is een aantal studies waarin de structuur van de kennis van studenten (afwisselend genoemd cognitieve structuur, associatieve structuur en cognitieve kaart) vergeleken wordt (op het punt van interne integratie) met een structuur van de leerstof (genoemd: inhoudsstructuur of formele structuur). De inhoudsstructuur wordt dan bepaald via een inhoudelijke analyse van de leerstof of via een meting van de kennisstructuur van terzake kundigen (experts). Voordat ingegaan wordt op de opzet en resultaten van deze onderzoeken, wordt eerst een korte bespreking gegeven van de methoden die gebruikt worden om de cognitieve structuur vast te stellen.

Methoden om de cognitieve structuur te bepalen

In paragraaf 3.1.1 werd reeds vermeld dat in het onderzoek naar de cognitieve structuur van het geheugen alleen het aspect van de interne integratie aan bod kwam. Om deze interne integratie van de cognitieve structuur te bepalen zijn verschillende methoden in gebruik. Deze methoden hebben alle dezelfde basisvorm. Uit de betrokken leerstof (vakinhoud) worden door de onderzoeker(s) (en als daar geen vakinhoudelijk deskundigen bij zijn dan worden die daar bij betrokken) een aantal belangrijke concepten, 'keyconcepts' of 'basic concepts', geselecteerd. Voor elk mogelijk paar geselecteerde concepten wordt een maat van gelijkenis vastgesteld. Dat gebeurt door die personen van wie men de cognitieve structuur wil bepalen een taak te geven waarin zij de geselecteerde concepten op een of andere manier op gelijkenis moeten beoordelen. De aldus verkregen gelijkenismaten tussen alle concepten worden in een (symmetrische) matrix geplaatst. Deze matrices worden per persoon verkregen maar kunnen uiteraard binnen groepen (studenten, experts) gesommeerd worden. Uitspraken over de mate van correspondentie worden mogelijk door matrices van (groepen) studenten te vergelijken met matrices van (groepen) experts. De cognitieve structuur kan ook meer inzichtelijk weergegeven worden door de data in de matrices verder te bewerken met behulp van bijvoorbeeld een hiërarchische clusteranalyse of meerdimensionale schaaltechnieken. Door een visuele vergelijking kan men dan een indruk verkrijgen van de correspondentie.

Verschillen tussen methoden ontstaan door de wijze waarop de relaties tussen concepten worden vastgesteld. Shavelson & Stanton (1975) doen verslag van drie methoden: *grafiekconstructie*, *woordassociaties* en *kaartsorteren*. Op grond van onderzoek komen zij tot de slotsom dat deze methoden alle drie begripsvalide en goed bruikbaar zijn. Naast deze methoden zijn er nog andere in gebruik (zie bv. Fenker, 1975), maar deze zijn minder goed onderzocht.

De *grafiekconstructiemethode* wordt uitgebreid beschreven in Shavelson (1974). In deze methode wordt subjecten gevraagd om paren concepten te verbinden met lijnen. Deze lijnen vertegenwoordigen de gelijkheid van twee concepten voor die persoon. Subjecten moeten aan deze lijnen rangordecijfers toekennen, (het voert te ver om hier de exacte procedure te beschrijven). De mate van gelijkheid tussen twee concepten wordt bepaald door een sommatie van de cijfers op de verbindingslijn(en) tussen twee concepten. Alhoewel deze methode begripsvalide gegevens oplevert lijkt ze minder goed bruikbaar vanwege de complexiteit van de eraan verbonden instructie.

De *woordassociatiemethode* is de meest gebruikte methode om relatie-maten tussen concepten vast te stellen. Deze methode houdt in dat subjecten elk geselecteerd concept afzonderlijk krijgen aangeboden waarna ze bij elk concept vrij moeten associëren. Daarbij krijgen ze, om de associatiestroom relevant te houden, vaak een speciale opdracht als bv. 'think as a mathematician'. Meestal wordt er per concept een bepaalde tijd om te associëren gegeven bv. 1 minuut. Voorbeelden van dit soort associaties zijn te vinden in Shavelson (1972).

De relatie tussen twee concepten wordt vastgesteld door middel van formules, bv. de relatiecoëfficiënt van Garskof & Houston (1963). In deze formule spelen de rangordes van associaties die zowel bij het ene als bij het andere gepresenteerde concept gegeven worden een rol. Daarnaast wordt rekening gehouden met het aantal associaties. Het grote nadeel van deze maat is dat de relatie tussen de ruwe data en de berekende maat niet inzichtelijk is. Daarnaast ontstaan er in de woordassociatiemethode praktische problemen wanneer men het aantal uit de stof geselecteerde concepten groot wil laten zijn. In de gepresenteerde onderzoeken is dit aantal concepten bescheiden (12-17). Het is waarschijnlijk ondoenlijk om proefpersonen bij meer dan dit aantal concepten te laten associëren.

Shavelson & Stanton (1975) maken ook melding van de *kaartsorteermethode*. Hierbij krijgen de proefpersonen concepten uit het leerstofgebied op kaartjes gedrukt uitgereikt. Elk kaartje bevat één concept. De deelnemers aan het onderzoek krijgen dan de opdracht zoveel stapeltjes te maken als zij denken dat juist is en er daarbij

zorg voor te dragen dat de concepten die in één stapeltje komen meer 'similar' zijn aan elkaar dan aan de concepten uit andere stapeltjes.

Vervolgens wordt voor elke deelnemer een gelijkheidsmatrix gevormd door elke combinatie van concepten een waarde toe te kennen, en wel een 1 als beide concepten in hetzelfde stapeltje voorkomen en een 0 wanneer dit niet het geval is. Vervolgens kunnen deze matrices over subjecten gesommeerd worden tot één matrix. De maximumwaarde van een cel is dan gelijk aan het aantal proefpersonen en de minimumwaarde is gelijk aan 0.

Shavelson & Stanton (1975) constateerden dat met deze methode dezelfde resultaten bereikt worden als met de eerste twee methoden. Bij de kaartsorteermethode ontbreekt echter een aantal nadelen dat wel bij de grafiekconstructie en de woordassociatiemethode aanwezig is. Er is geen ingewikkelde instructie nodig en de relatie tussen ruwe data en de gelijkheidsmaat is rechtlijnig en inzichtelijk. Bovendien lijkt deze methode bruikbaar wanneer het aantal geselecteerde concepten groot is.

Tot slot wordt een methode beschreven waarvan het grondplan niet gelijk is aan dat van de eerder beschreven methoden. Champagne, Klopfer, Desena & Squires (1981) ontwikkelden de 'Concept Structure Analysis Technique' (Consat). Deze techniek werkt als volgt. Elke student krijgt een aantal termen uit de leerstof op kaartjes uitgereikt. Deze moet hij op een groot vel papier arrangeren op een manier 'zoals hij over de woorden denkt'. Wanneer dit gebeurd is moet de student de onderzoeker vertellen waarom hij de kaarten op deze manier georganiseerd heeft. Naar aanleiding van de opmerkingen van de student verbindt de onderzoeker concepten met lijnen en geeft hij deze verbindingen een label. De op deze manier verkregen individuele cognitieve structuren worden vervolgens aan de hand van zes criteria ingedeeld in één van zeven categorieën van structuren. Deze categorieën zijn hiërarchisch georganiseerd waarbij de hoogste categorie het best is, d.w.z. goed geïntegreerd, systematisch etc. De door Champagne et al. (1981) gehanteerde methode heeft als nadeel dat bij de uiteindelijke classificatie in structuren een aanzienlijke reductie van de rijkheid van de data plaatsvindt. Relaties tussen de afzonderlijke concepten zijn niet meer terug te vinden.

Opzet en resultaten van onderzoeken naar de cognitieve structuur

De hier behandelde onderzoeken naar de cognitieve structuur van studenten hebben alle een gelijksoortige opzet. Een groep studenten krijgt een instructie in een bepaalde vakinhoud (zij volgen bijvoorbeeld een cursus) en de kennisstructuur van deze studenten wordt dan op verschillende momenten (maar in ieder geval voor en na de instructie) gemeten. De in de onderzoeken betrokken vakinhouden variëren, maar

zijn vrijwel altijd uit de exacte hoek afkomstig. Uitzonderingen vormen Penker (1975) die twee onderwerpen uit de methodologie van psychologische experimenten onderzocht, en Champagne et al. (1981) met thema's uit het vakgebied geologie. Verder zijn de onderwerpen: wiskunde (kansberekening, 'probability') (Geeslin & Shavelson, 1975), mechanica (Shavelson, 1972), wiskunde (operational systems) (Shavelson & Stanton, 1975) en natuurkunde (energy) (Thro, 1978). Het aantal sleutelconcepten dat uit de stof geselecteerd wordt (zie eerder in deze paragraaf) varieert in deze onderzoeken tussen de 12 en 17. Het aantal proefpersonen varieert van 12 (Shavelson & Stanton, 1975) tot 87 (Geeslin & Shavelson, 1975).

Het doel van deze onderzoeken is het vastleggen van ontwikkelingen in de cognitieve structuur ten gevolge van instructie. De resultaten van alle onderzoeken (wellicht met uitzondering van één studie van Penker, 1975) wijzen in dezelfde richting. Voor de instructie is de cognitieve structuur van studenten sterk afwijkend van de inhoudsstructuur, na de instructie (cursus) is de cognitieve structuur veel dichtter bij de inhoudsstructuur komen te staan. Met andere woorden: de correspondentie is toegenomen. In studies waarin controlegroepen zijn opgenomen blijkt dat bij de controle groep nauwelijks een verandering van de cognitieve structuur optreedt.

Shavelson (1972) en Thro (1978) bepaalden de cognitieve structuur van hun proefpersonen respectievelijk 6 en 5 keer achter elkaar. De mate van correspondentie werd door hen vastgesteld door matrices van cognitieve structuur van studenten te vergelijken met een matrix voor de inhoudsstructuur (deze matrices bevatten gelijkenismaten tussen concepten, zie eerder in deze paragraaf).

In het onderzoek van Thro (1978) bleek dan dat bij een groep studenten die een instructie volgden de meeste verandering in cognitieve structuur plaatsvond in het begin van de instructie. Thro vroeg daarom speciale aandacht voor deze eerste fase van de instructie in het onderwijs. Bij Shavelson (1972) bleek de ontwikkeling in cognitieve structuur echter veel geleidelijker plaats te vinden.

Penker (1975) rapporteerde twee studies. In zijn eerste onderzoek vond hij dat na een instructie de cognitieve structuur van studenten slechts in zeer geringe mate dichtter bij de inhoudsstructuur kwam. Bovendien waren de data van de posttest evenals die van de pretest moeilijk interpreteerbaar. Penker concludeerde dan ook dat de instructie (welke een gewone doorsnee cursus was) onvoldoende was om structuur aan de studenten bij te brengen. Vervolgens voerde hij een replicatie van zijn eerste onderzoek uit met als afwijking daarop dat studenten nu een aanwijzing kregen in de leerstof te letten op een bepaald aantal (genoemde) concepten en de relaties tussen die concepten. Nu werden wel dezelfde resultaten gevonden als in de hiervoor genoemde studies.

Soms is er in de onderzoeken een controlegroep opgenomen. Studenten in deze groep volgen niet de instructie maar van hen wordt wel de cognitieve structuur bepaald. Het gebruik van zo'n controlegroep is echter bediscussieerbaar (zie ook Champagne et al., 1981). In de gebruikte onderzoeksmethoden moeten studenten veelal bij concepten uit de betrokken leerstof associaties geven. Het is de vraag hoe zinvol het is mensen te laten associëren bij begrippen die ze zeer weinig zeggen. Shavelson (1972) en Thro (1978) lieten een controlegroep in hun onderzoek maar liefst 6 respectievelijk 5 maal een associatietest (dezelfde) afleggen. Naar aanleiding daarvan meldt Shavelson: "the results indicate a fairly stable cognitive structure for the control-group" (Shavelson, 1972, p. 232). Wanneer deze studenten uit de controlegroep tussen de verschillende metingen door geen enkele informatie over de specifieke in het onderzoek betrokken vakinhoud kregen, dan lijkt dit niet zo'n onverwacht resultaat. Nu is het zo dat bij Shavelson de deelnemers aan het onderzoek enige kennis van het onderwerp hadden voor de cursus begon, in ieder geval waren de begrippen niet geheel onbekend voor hen. Het nut van een controlegroep wordt nog twijfelachtiger wanneer de deelnemers vrijwel onbekend zijn met de vakinhoud. Fenker (1975) bijvoorbeeld liet zijn proefpersonen telkens de relatie tussen twee concepten uit de vakinhoud aangeven. Hij vond daarbij echter zeer lage betrouwbaarheden bij de groep naieve proefpersonen (pretest voor de experimentele groep) en komt dan ook tot de conclusie: "...the initial judgement task is probably a waste of time if the concepts being scaled are not somewhat familiar to the students" (Fenker, 1975, p. 43).

Samenvattend kan geconcludeerd worden dat tijdens de bestudering van vak kennis niet alleen losse kennis in het geheugen wordt opgenomen maar dat ook de structuur van die kennis wordt geleerd en aan verandering onderhevig is. Deze structuur (en dus ook de verandering ervan) is meetbaar en het is mogelijk deze zichtbaar te maken.

3.1.3 Cognitieve structuur en probleemoplossen

Bromage & Mayer (1981) toonden aan dat de vorm van organisatie van de informatie in een studietekst van invloed was op de prestatie bij (creatief) probleemoplossen. Ook Reif (1980) is een van de auteurs die benadrukt dat de oplossing van (vooral complexe) problemen cruciaal afhangt van efficiënte zoekprocedures en vormen van kennisorganisatie. Mettes & Pilot (1980) trachtten studenten expliciet structuur van de leerstof aan te reiken via wat zij noemden 'KB-kaarten'. KB staat dan voor kernbetrekking. Op deze kaarten zijn belangrijke formules uit de stof met hun geldigheidsvoorwaarden en de erbij betrokken heuristieken en algoritmen weergegeven.

De organisatie van vakinhoudelijke kennis wordt dus vaak als belangrijk gezien voor het kunnen oplossen van problemen.

Volgens Chi et al. (1981) en Chi et al. (1982) is een cognitieve structuur opgebouwd uit probleemschemata zeer bevorderlijk voor het kunnen oplossen van problemen. Onder een probleemschema kan dan worden verstaan: 'een afgescheiden hoeveelheid informatie in het geheugen die betrekking heeft op één type problemen' (Chi et al. 1982). Probleemtypen kunnen op verschillende nivo's gedefinieerd worden (Mayer, 1981). Hier worden probleemtypen van elkaar afgescheiden door het *vakinhoudelijke principe* of *de combinatie van principes* die nodig zijn om het probleem op te lossen. Een adequaat probleemschema bevat alle informatie die nodig is om één type problemen op te lossen. Als een oplosser een cognitieve structuur heeft die is opgebouwd uit adequate probleemschemata, dan zal de oplossing van een probleem vrijwel automatisch kunnen verlopen wanneer hij het juiste schema uit zijn geheugen vist. Daarbij wordt even aangenomen dat de oplosser over de nodige wiskundige en natuurkundige basiskennis beschikt. Een uitgebreide beschrijving van dit proces wordt gegeven in paragraaf 1.3.4.

Chi et al. (1981) en Chi et al. (1982) lieten experts en beginners natuurkundige probleembeschrijvingen op gelijkenis sorteren. Experts bleken dan problemen op het achterliggende oplosprincipe te sorteren, terwijl beginners bij de sortering meer gericht waren op de oppervlakkige (uiterlijke) kenmerken van de problemen. Hieruit concludeerden zij dat experts, in tegenstelling tot beginners, hun kennis hadden opgebouwd volgens probleemschemata. Silver (1979) deed een soortgelijk onderzoek als Chi et al. (1981) en Chi et al. (1982) maar liet probleembeschrijvingen sorteren door goede en zwakke beginners. Dan bleken goede beginners ook (evenals de experts) probleembeschrijvingen op het achterliggende principe te sorteren. Ook goede beginners lijken dus te beschikken over probleemschemata (zie voor een uitgebreide beschrijving van deze onderzoeken de paragrafen 1.4.1 en 1.4.2. Kortom, er zijn duidelijke indicaties dat de wijze van kennisorganisatie samen gaat met de mate van succes bij probleemoplossen.

In enkele van de in 3.1.2 behandelde onderzoeken werd expliciet aandacht besteed aan de relatie tussen cognitieve structuur en prestaties op een toets. Alhoewel de aard en samenstelling van die toetsen zeer divers is (bovendien ontbreekt vaak voldoende informatie over de toetsen) kan op grond hiervan wellicht iets meer licht op de relatie tussen structuur en succes bij oplossen geworpen worden.

Geeslin & Shavelson (1975) rapporteren lage correlaties tussen prestaties en correspondenties (de mate van overeenstemming tussen de cognitieve structuur en de inhoudstructuur). Zij concluderen dan ook dat het leren oplossen van problemen

en het leren van structuur verschillende aspecten van leren zijn. Deze conclusie zetten zij echter weer op losse schroeven door daarna op te merken: "Also it is possible that many of the problems in the achievement task could be solved by computational methods and thus not exhibit a dependence on learning a structure" (Geeslin & Shavelson, 1975, p. 37).

Shavelson (1978) (dit artikel betreft hetzelfde onderzoek als het in de vorige paragraaf behandelde Shavelson, 1972) vond wel een relatie tussen data uit de woord-associatie-test en prestatie op een toets. Prestatie werd echter slechts voorspeld (correlatie .36, $p < .05$) door de hoeveelheid belangrijke concepten (constrained responses) in de bovenste helft van het totaal aantal gegeven responsen (door de studenten gegeven uiteraard). Dit lijkt een wat vreemde en gezochte maat.

Thro (1978) vond cognitieve structuur als de beste voorspeller van prestatie (via een regressieanalyse). Zij concludeert dan ook: "... Thus, the ability of subjects to solve problems was seen to vary directly with the establishment of related concepts in their cognitive structure", (blz. 976).

Fenker (1975) tenslotte vond een vrij hoge correlatie tussen behaalde waardering (A-F) en een maat voor de overeenkomst tussen de expertstructuur en de cognitieve structuren van studenten. Deze correlaties waren .61 ($p < .05$) en .54 ($p < .05$) voor beide onderwerpen uit de studie van Fenker.

Alhoewel er een tendens in deze resultaten zit die betekent dat een hogere mate van correspondentie samenhangt met meer succes bij het oplossen van problemen zijn de onderzoeken hierin niet eenstemmig. Dit lijkt in tegenspraak te zijn met de resultaten van de onderzoeken van Chi et al. (1981), Chi et al. (1982) en Silver (1979). Op grond van deze onderzoeken kon namelijk verwacht worden dat studenten van wie de cognitieve structuur meer overeenkwam met die van experts (en die dus meer volgens probleemschemata georganiseerd zou zijn) betere probleemoplossers zouden zijn dan studenten bij wie de correspondentie minder groot is.

De tegenstelling in onderzoeksresultaten is echter een schijnbare tegenstelling. In de in dit hoofdstuk behandelde groep onderzoeken naar de cognitieve structuur wordt een beperking gemaakt tot het vastleggen van relaties tussen slechts één specifiek element van kennis namelijk concepten. Adequate probleemschemata bevatten echter niet slechts concepten uit de leerstof maar ook andere delen *declaratieve kennis* zoals formules en principes. Bovendien bevat een probleemschema *kenmerken van probleemsituaties* zodat een koppeling tussen een probleem-beschrijving en een probleemschema mogelijk wordt (Schoenfeld & Herrmann, 1982) en *procedurele kennis*, dat wil zeggen kennis van acties die nodig zijn om een bepaald type problemen op te lossen (Braune & Poshay, 1983) (zie voor dit alles ook de paragrafen 1.3.3 en 1.3.4). Op grond van de onderzoeken uit paragraaf 3.1.2 kan dus

niet gezegd worden of de gemeten cognitieve structuren ingericht zijn volgens probleemschemata.

3.1.4 Onderzoekshypothese

Het onderzoek werd opgezet met het doel verschillen in cognitieve structuur tussen goede en slechte probleemoplossers in kaart te brengen. Daarbij werd uitgegaan van de theorievorming zoals die door Chi et al. (1981) en Chi et al. (1982) ontwikkeld werd. Omdat de in deze onderzoeken gehanteerde methoden om achter de cognitieve structuur te komen (sorteren van probleembeschrijvingen) vrij indirect zijn werd qua methode aansluiting gezocht bij de in paragraaf 3.1.2 behandelde meer directe methoden om de cognitieve structuur te meten.

Wanneer de theorievorming rond probleemschemata doorgetrokken wordt naar beginners (wat geen onterechte gedachte is zoals blijkt uit het onderzoek van Silver, 1979) kan voor het onderhavige onderzoek de hypothese geformuleerd worden dat *goede studenten hun kennis meer volgens (adequate) probleemschemata hebben georganiseerd dan studenten die slecht presteren.*

Wanneer aangesloten wordt bij de methoden zoals die in paragraaf 3.1.2 behandeld werden, betekent dat in ieder geval dat uit de leerstof die voor het onderzoek gekozen wordt, kenniselementen geselecteerd worden. Deze elementen vormen immers de basis van een taak die proefpersonen binnen deze methoden moeten verrichten om de cognitieve structuur (relaties tussen deze elementen) te kunnen bepalen.

De kenniselementen die nodig zijn, wil de bovenstaande hypothese getoetst worden, wijken af van kenniselementen zoals gebruikt in het onderzoek uit paragraaf 3.1.2. Daar was steeds sprake van elementen in de vorm van (sleutel) concepten. Voorbeelden hiervan zijn kracht, massa, versnelling, etc., wanneer het onderzoek het vakgebied mechanica betrof. Met een beperking tot dit soort concepten als kennis-elementen kan bovenstaande hypothese niet getoetst worden. Probleemschemata bevatten altijd drie soorten kennis(elementen): kenmerken van probleemsituaties, declaratieve kennis en procedures. Deze drie soorten kennis zullen daarom moeten voorkomen in de kenniselementen die proefpersonen in de taak die ze krijgen moeten beoordelen.

3.2 Onderzoeksopzet en uitvoering

Het onderzoek werd opgezet om de in paragraaf 3.1.4 toegelichte hypothese: 'Goede probleemoplossers hebben hun kennis meer volgens (adequate) probleemschemata georganiseerd dan slechte probleemoplossers' te toetsen. De mate waarin een cognitieve structuur is ingericht volgens probleemschemata wordt hierna de *probleemgerichtheid* van die cognitieve structuur genoemd. Om deze toetsing te realiseren werd gekozen voor de volgende, vrij eenvoudige, onderzoeksopzet. Studenten die een (regulier) tentamen hadden afgelegd (en dus een vakinhoud hadden bestudeerd zoals die normaal in het onderwijs gebruikelijk is) werd gevraagd binnen een korte tijd na het tentamen een taak uit te voeren. Deze experimentele taak werd zo ontworpen dat daarmee vastgesteld kon worden in hoeverre de cognitieve structuur van de studenten (van de voor het tentamen relevante vakinhoud uiteraard) 'probleemgericht' was. Het tentamencijfer werd beschouwd als maat voor de probleemoplosprestaties van de studenten.

De verschillende onderdelen van deze onderzoeksopzet en de uitvoering ervan worden onderstaand besproken.

3.2.1 De vakinhoud

De in het onderzoek betrokken vakinhoud betrof het vak Electriciteit en Magnetisme I (E&M I). De deelnemers aan het onderzoek volgden dit vak als een verplicht onderdeel van het eerstejaarsprogramma van studenten Natuurkunde aan de TH Eindhoven. E&M I bevat de electrostatica van het vacuüm, de wetten van Kirchhoff, magnetostatica van het vacuüm, kracht op een stroomvoerende draad door het magnetisch veld, en electromagnetische inductieverschijnselen. De cursus bevat drie colleges per week gedurende de eerste negen weken van het academische jaar. Naast deze colleges volgen de studenten twee uur per week een instructie die gericht is op het oplossen van problemen.

3.2.2 Het tentamen

De toetsing van het vak E&M I vindt plaats in een schriftelijk tentamen van drie uur. Het tentamen bestaat uit 5 open vragen meestal onderverdeeld in 2-5 deelvragen. In deze vraagstukken wordt meestal een natuurkundig systeem beschreven (bv. een condensator) en in elke deelvraag wordt de studenten gevraagd een onbekende (bijvoorbeeld de spanning op een van de geleiders van de condensator) te berekenen. De tentamens worden beoordeeld op een lineaire 10-punts schaal waarbij een 6 (= een 60 % score) een voldoende is en 10 staat voor uitmuntend. Het uiteindelijke

cijfer voor het tentamen wordt vastgesteld door een corrector in overleg met de betrokken student.

Aan het in het onderzoek betrokken tentamen namen 98 studenten deel. Het gemiddelde cijfer was $\bar{x} = 5,01$ ($s = 1,89$). Het tentamen was dus moeilijk uitgevallen. Dit kan mede veroorzaakt zijn doordat in een van de opgaven ongelukkigerwijs een typefout was geslopen die sommige studenten in verwarring kan hebben gebracht.

3.2.3 Deelnemers aan het onderzoek

De proefpersonen die aan het onderzoek deelnamen deden dit op vrijwillige basis. Door middel van oproepen op een college en via mededelingenborden werd hen gevraagd hun medewerking aan het onderzoek te geven. Op zittingen die ongeveer één week na het tentamen werden gehouden verschenen 45 studenten. Twee van deze studenten hadden het tentamen niet afgelegd, zij telde voor het onderzoek verder niet mee. De daarop volgende dagen werd getracht studenten die niet op de zittingen waren verschenen te bereiken en alsnog tot deelname te bewegen. Een week na de eerste zitting legden nog 4 studenten de experimentele taak af. Er resulteerde dus een aantal deelnemers aan het onderzoek van 47. Het gemiddelde tentamencijfer van deze groep was $\bar{x} = 5,4$ ($s = 1,84$). Zowel hoge als lage cijfers waren redelijk vertegenwoordigd.

3.2.4 De experimentele taak

De kenniselementen uit de experimentele taak

Bij het ontwerpen van een taak waarmee de probleemgerichtheid van cognitieve structuren gemeten gaat worden is het noodzakelijk de betrokken vakinhoud in te delen in probleemttypen. Immers probleemschemata zijn met probleemttypen samenhangende informatie-eenheden in het geheugen (zie paragraaf 1.3.4). Om deze typen te verkrijgen werd de leerstof eerst verdeeld in 6 hoofdthema's (electrostatica, magnetostatica etc.). Daarbij werden de wetten van Kirchhoff niet opgenomen omdat zij een vrij geïsoleerd deel van de leerstof vormen. Binnen deze 6 hoofdthema's werden in totaal 12 verschillende probleemttypen onderscheiden. Elk type beruiste op een natuurkundig principe (bijvoorbeeld de wet van Coulomb).

Vervolgens werden voor elk van de 12 probleemttypen kenniselementen geconstrueerd op zo'n manier dat elk probleemtype bestond uit tenminste één kenmerk van een probleemsituatie, één stuk declaratieve kennis en één procedure. Bij de meeste probleemttypen onstonden zo meer dan het minimale aantal van 3 kenniselementen. In totaal resulteerde er een aantal van 65 kenniselementen. Uiteraard was

deze lijst niet uitputtend voor de in het onderzoek betrokken leerstof. Er bestond geen overlap van elementen tussen de onderscheiden probleemttypen.

Al deze indelingen en de constructie van de kenniselementen werden uitgevoerd door een natuurkundig expert met een jarenlange onderwijservaring. Zij was niet betrokken bij de constructie of de beoordeling van de tentamens die door de deelnemers aan het onderzoek waren afgelegd.

De Appendix bij dit hoofdstuk (blz. 127) bevat een opsomming van alle in het onderzoek gebruikte kenniselementen gerangschikt per probleemtype. Elk kenniselement heeft een code, deze bestaat uit een cijfer gevolgd door een letter en dan weer een cijfer. Het eerste cijfer duidt de hoofdgroep aan, de letter het probleemtype binnen de hoofdgroep en het laatste cijfer is een identificatie voor het betreffende kenniselement binnen dit probleemtype. Ter verduidelijking: 4A2 betreft dus element nummer 2 van probleemtype A uit hoofdgroep 4. Het totaal aantal kenniselementen per probleemtype varieerde van 3 tot 7. De 12 probleemttypen kunnen dus herkend worden aan de combinatie van het eerste cijfer en de eerste letter. Zij kunnen gekarakteriseerd worden door de volgende natuurkundige principes: de wet van Coulomb (1A), de wet van Gauss (1B), de wet van Biot-Savart (2A), de wet van Ampère (2B), magnetisch dipool veld (2C), condensator (3A), methode van spiegelbeeldlading (3B), potentiaal (4A), beweging van een geladen deeltje in een gecombineerd elektrisch en magnetisch veld (5A), kracht op een stroom (6A), emf opgewekt in een bewegende geleider (6B) en stroom opgewekt in een stroomkring (6C). Kenmerken van probleemsituaties worden gevormd door elk eerste of elke eerste twee kenniselement(en) van elk probleemtype (dus 1A1, 1B1, 2A1 etc.), procedurele kennis is opgenomen in elk laatste of elke laatste twee kenniselement(en) van elk probleemtype (1A5, 1B5, 1B6, 2A3, 2A4, 2B5, 2B6, 2C4, 2C5, 3A7, 3B5, 3B6, 4A6, 5A4, 5A5, 6A5, 6B3, 6C6, en 6C7). De resterende kenniselementen bevatten declaratieve kennis. In de Appendix is bij elk element door middel van een symbool aangegeven tot welke kennissoort dit element behoort. Kenmerken van probleemsituaties zijn aangegeven met KPS, declaratieve kennis met DK en procedurele kennis met PK.

Een analyse van het door de deelnemers aan het onderzoek afgelegde tentamen (uitgevoerd door dezelfde natuurkundig expert die ook de kenniselementen opstelde) bracht aan het licht dat een van de 5 vraagstukken op het tentamen betrekking had op de wetten van Kirchhoff. Dit onderdeel van de leerstof was niet opgenomen in de 12 probleemttypen. Al de deelvragen van de overige 4 vraagstukken konden geclassificeerd worden als een van de 12 probleemttypen of, in een uitzonderingsgeval, als

een combinatie van twee typen. In totaal waren 8 van de 12 experimentele probleemtypen in de problemen op het tentamen vertegenwoordigd.

Procedure

De opname van andere kenniselementen dan louter concepten leidde ertoe, samen met de vrij forse omvang van de leerstof, dat er in totaal het vrij grote aantal van 65 kenniselementen bereikt werd. Dit grote aantal kenniselementen maakte de methode van kaartsorteren tot de meest geschikte als experimentele taak (zie paragraaf 3.1.2). Bij deze methode wordt elk kenniselement op een kaartje getikt waarna de proefpersoon de kaartjes moet sorteren in stapeltjes, waarbij hij kaartjes die voor hem 'similar' zijn in een stapeltje moet plaatsen. Dat de kaartsorteermethode in principe geschikt is voor een groot aantal elementen blijkt uit onderzoek van Miller (1969) die 48 zelfstandige naamwoorden liet sorteren, Burton (1972) met 60 beroepen en Rapoport & Fillenbaum (1972) die 29 'have' woorden en 24 kleuren lieten sorteren.

De deelnemers aan het onderzoek kregen een stapel van 65 kaartjes met op elk kaartje één van de 65 kenniselementen. De kaartjes lagen in een aselechte volgorde die voor elke deelnemer gelijk was. Bij de hier gebruikte kenniselementen is het niet zinvol kenniselementen die 'similar' zijn te laten groeperen. Daarom werd gekozen voor een andere omschrijving. De instructie aan de deelnemers hield in dat hen gevraagd werd stapeltjes te vormen van kaartjes zodanig dat kaartjes in één stapeltje meer met elkaar te maken hadden dan kaartjes uit verschillende stapeltjes. Daarbij werd hen geen criterium voor deze gelijkheid gesuggereerd. Het aantal stapeltjes en het aantal kaartjes in elk stapeltje konden zij zelf bepalen. Hen werd gevraagd om wanneer zij klaar waren met hun sortering alle stapeltjes nog eens langs te lopen om te zien of er nog stapeltjes samengevoegd of opgesplitst konden worden. Kaarten die een kenniselement bevatten dat hen onbekend voorkwam moesten zij apart leggen. Tevens werd de deelnemers gevraagd om wanneer zij klaar waren met het vormen van stapeltjes een naam te bedenken voor elk stapeltje. Deze naam moest de inhoud van het stapeltje typeren.

3.3 Resultaten

De data van dit onderzoek zijn op twee manieren verwerkt. Op de eerste plaats heeft er een analyse plaats gevonden over de gehele groep van deelnemers. Daarnaast zijn er bewerkingen uitgevoerd op subgroepen van deelnemers. Deze subgroepen werden samengesteld aan de hand van de tentamencijfers van de studenten.

3.3.1 Analyse over de gehele groep deelnemers

Van elke deelnemer aan het onderzoek was het tentamencijfer en de resultaten van de sorteertaak beschikbaar. Aan de hand van dit laatste kon een maat berekend worden die aangaf in hoeverre de cognitieve structuur van een student een probleemgerichte structuur was. Deze maat werd als volgt berekend.

Per student werd een symmetrische 65 x 65 matrix opgesteld waarbij in de cellen een nabijheidsmaat voor elk paar kenniselementen kwam te staan. Deze nabijheidsmaat werd gesteld op de waarde 1 wanneer een student beide kenniselementen in dezelfde groep had geplaatst en op de waarde 0 wanneer de student beide in een verschillend stapeltje had ondergebracht (zou een student dus één groep van 65 elementen maken dan zou zijn matrix louter enen bevatten). Zo'n zelfde matrix werd opgesteld voor een sortering volgens de 12 probleemtypen zoals die in de Appendix zijn opgenomen. Deze laatste 'ideale' matrix (hierna aangeduid als de probleemgerichte matrix) bevat boven de diagonaal 151 enen en 1929 nullen. Van elke student werd nu zijn matrix op de probleemgerichte matrix gelegd. Het aantal keren dat een 1 uit de matrix van de student overeenkwam met een 1 uit de probleemgerichte matrix gaf zijn EE-score (een-een). Het aantal keren dat een 1 uit de matrix van de student op een 0 uit de probleemgerichte matrix viel gaf zijn EN-score (een-null). Uit deze twee scores werd een maat voor de probleemgerichtheid (PG) van de sortering van een student berekend volgens de volgende formule:

$$PG = \frac{EE}{151} - \frac{EN}{1929} \quad (1)$$

De PG-score van een student geeft dus een maat voor de overeenkomst tussen zijn sortering en een sortering volgens de twaalf probleemtypen. Deze maat heeft een waarde $PG = 1$ wanneer een student zuiver volgens deze probleemtypen sorteert; $PG = 0$ wanneer hij één stapel met alle 65 kenniselementen erin als sortering aflevert. Bij extreem van de probleemgerichte sortering afwijkende sorteringen kan PG ook negatief worden. Het minimum van $PG = -0,16$ dit in het geval er geen elementen uit hetzelfde probleemtype in hetzelfde stapeltje zijn ondergebracht en er bovendien, onder die conditie, zo weinig mogelijk stapeltjes zijn (EN is dan

maximaal onder de conditie dat $EE=0$).

In Tabel 3.1 zijn per student (p) opgenomen: EE, EN, PG, tentamencijfer (x) en het aantal stapels (i) dat door de betreffende student bij de sortering werd gevormd.

Tabel 3.1

EE, EN, PG, x en i per student (p)

p	EE	EN	PG	x	i	p	EE	EN	PG	x	i
1	136	45	0,878	10	11	25	46	114	0,246	5	14
2	75	116	0,437	8	16	26	51	86	0,293	5	16
3	24	435	-0,067	8	7	27	43	91	0,238	5	14
4	75	51	0,471	8	19	28	71	151	0,392	5	10
5	100	164	0,577	8	8	29	88	48	0,558	5	15
6	70	87	0,419	8	16	30	42	92	0,230	4	16
7	98	470	0,405	8	6	31	30	143	0,125	4	12
8	100	343	0,484	7	5	32	83	137	0,479	4	10
9	68	134	0,381	7	11	33	51	157	0,257	4	13
10	33	133	0,150	7	19	34	48	142	0,244	4	17
11	63	121	0,354	7	12	35	46	242	0,180	4	8
12	59	91	0,344	7	17	36	59	195	0,290	4	13
13	64	148	0,347	7	11	37	87	326	0,407	4	11
14	42	137	0,207	6	13	38	78	118	0,456	4	12
15	61	118	0,343	6	13	39	51	78	0,298	4	20
16	107	243	0,583	6	11	40	35	64	0,199	4	20
17	68	192	0,350	6	10	41	36	116	0,178	3	14
18	50	172	0,242	6	11	42	53	103	0,298	3	16
19	118	204	0,675	6	7	43	62	55	0,382	3	18
20	54	164	0,273	6	11	44	60	114	0,338	3	13
21	95	346	0,450	6	7	45	28	119	0,123	3	18
22	96	264	0,499	6	10	46	44	267	0,153	3	10
23	57	108	0,321	6	16	47	73	243	0,357	2	14
24	73	40	0,462	5	19						

Aan de hand van de gegevens uit Tabel 3.1 kan de samenhang tussen prestatieniveau enerzijds en probleemgerichtheid van de cognitieve structuur anderzijds kwantitatief bepaald worden. De correlatie tussen tentamenresultaat en PG-score $r_{(x,PG)} = .40$ ($p < .01$). Deze correlatie wordt voornamelijk veroorzaakt door de EE-component van de PG-score, $r_{(x,EE)} = .44$ ($p < .01$). De EN-score varieert sterk over

tentamencijfers $r_{(x,EN)} = .13$, (zie ook paragraaf 3.3.2). Deze correlatieve data ondersteunen de hypothese dat goede studenten een meer probleemgerichte cognitieve structuur hebben dan zwakke studenten.

Wanneer Tabel 3.1 bekeken wordt dan valt de bijzondere positie op van student 3. Deze student (met tentamencijfer $x = 8$) heeft de laagste EE-score van alle studenten en heeft de op een na hoogste BN-score. Dit heeft tot resultaat dat hij de enige student is met een negatieve PG-score.

Bij de sortering van student 3 valt op dat hij (naast twee elementen onbekend) 5 groepen maakt met elk een bijzonder groot aantal elementen. De indeling is fundamenteel anders dan die van alle andere studenten en valt het beste te omschrijven als een functionele indeling. Daarmee wordt bedoeld dat deze student voor elk kenniselement een niet-inhoudelijke typering heeft bedacht en dat dit vervolgens zijn sortering heeft bepaald. Uit zijn benoeming van de gesorteerde stapels (en de inhoud daarvan uiteraard) blijkt dat hij bijv. '(probleem-)situaties' bij elkaar heeft gesorteerd en bijv. 'afleidbare formules'. Vanwege deze fundamenteel andere opvatting van de sorteertaak lijkt het gerechtvaardigd deze persoon uit de steekproef te verwijderen. Als dit gebeurt dan stijgt de correlatie tussen tentamenresultaat en probleemgerichtheid van de sortering en wordt dan $r_{(x,PG)} = .54$ ($p < .01$). $r_{(EE,PG)}$ wordt dan $.52$ ($p < .01$). In de in dit hoofdstuk nog volgende analyses is deze student niet verwijderd.

3.3.2 Analyse per subgroep

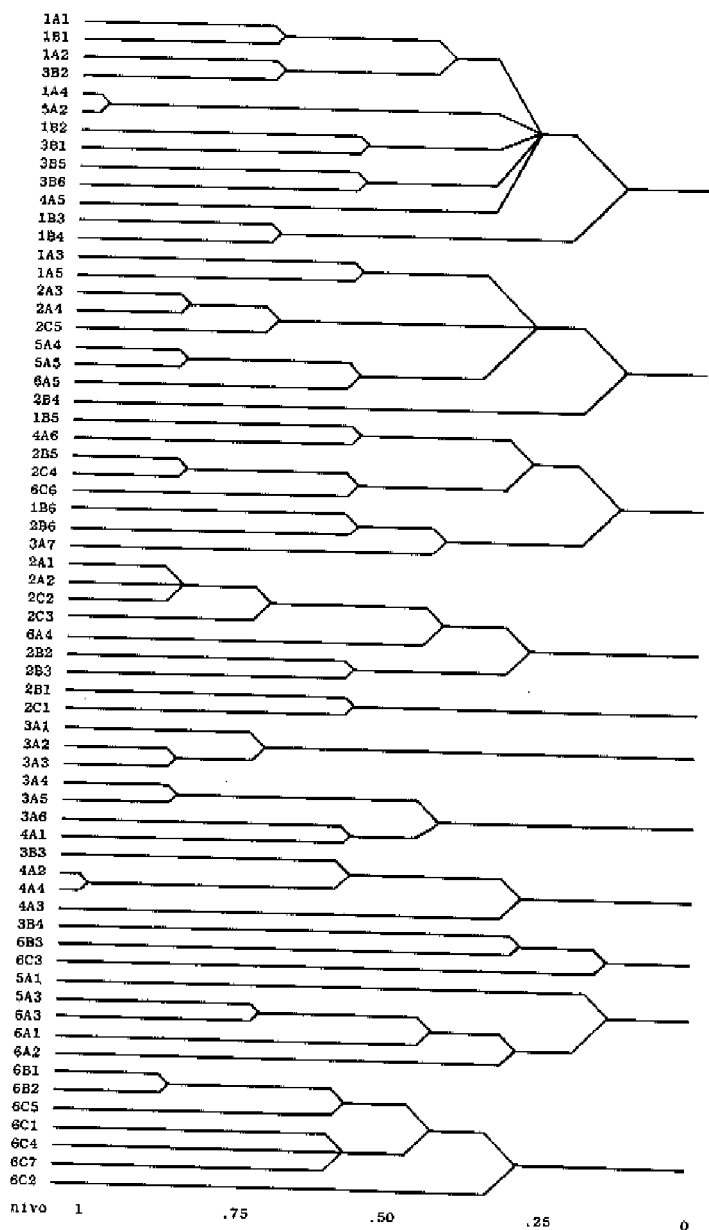
Naast een analyse van de data over de gehele groep studenten werden ook de data over subgroepen van studenten verwerkt. Deze subgroepen werden onderscheiden naar tentamencijfer, een groep goede studenten ($x=7v8v10$, $n=13$) en een groep slecht presterende studenten ($x=2v3$, $n=7$). Omdat deze laatste groep vrij klein was werd daarnaast ook nog een groep samengesteld met $x=2v3v4$ ($n=18$). Bij de hierna vermelde analyses worden de kenniselementen met hun code aangeduid. Voor de inhoud van de kenniselementen wordt verwezen naar de Appendix bij dit hoofdstuk. Alhoewel door het veelvuldig vermelden van de codes de leesbaarheid niet bevorderd wordt, is het alternatief om telkens de inhoud van de kenniselementen te vermelden niet uitvoerbaar. De belangrijkste informatie uit de codes is dat probleemttypen aangeduid worden door de combinatie van het eerste cijfer en de letter uit de code (dus 1A, 1B enz.).

Bij elke groep werd op de gesommeerde matrices van de studenten een hiërarchische clusteranalyse uitgevoerd. Bij deze methode vindt een stapsgewijze samenvoeging

van paren elementen plaats. Begonnen wordt met de twee elementen met de onderling kleinste afstand (grootste nabijheid). Na elke samenvoeging worden de afstanden (nabijheden) tot de resterende elementen opnieuw gedefinieerd. Johnson (1967) onderscheidt hierbij de maximum- en de minimummethode. De afstanden van de samengevoegde elementen afzonderlijk tot een derde element zullen zeiden gelijk zijn. Bij de maximummethode wordt als nieuwe afstand tussen de samenvoeging en een derde element de grootste van de twee oorspronkelijke afstanden gehanteerd, bij de minimummethode de kleinste oorspronkelijke afstand. Na elke samenvoeging en herdefiniëring worden de twee elementen uit de nieuwe matrix met de kleinste afstand (grootste nabijheid) samengevoegd waarna weer herdefiniëring plaats vindt. Dit gaat zo door tot tussen de samenvoegingen nabijheden met de waarde 0 ontstaan. In het onderhavige onderzoek worden alleen de resultaten van de maximummethode vermeld. De resultaten verkregen volgens de minimummethode weken hier niet principieel van af.

De resultaten van een clusteranalyse kunnen onder andere in een dendrogram weergegeven worden. De Figuren 3.1, 3.2 en 3.3 bevatten dendrogrammen voor de clustering van elementen binnen de verschillende groepen studenten. Het nivo van elke clustering is aangegeven op een schaal van 1 tot 0. Een nivo met de waarde 1 houdt in dat er tussen elementen een maximale nabijheid bestaat. Deze maximale nabijheid is gelijk aan het aantal studenten (n) in een groep, immers wanneer een student twee elementen in één stapel sorteert dan is de nabijheidsmaat in de individuele matrix gelijk aan 1, en in het geval de student de elementen in afzonderlijke groepen sorteert wordt de waarde 0 toegekend. Het aantal nivo's in een clusteranalyse is derhalve ook gelijk aan n . Om de figuren vergelijkbaar te maken (de aantallen studenten verschillen) is dit aantal omgezet in een schaal tussen 1 en 0. In elk dendrogram loopt de 'sterkte' van de bindingen tussen elementen dus af naarmate de samenvoeging meer rechts in de figuur plaats vindt en het nivo een kleinere waarde krijgt.

In Figuur 3.1 (blz. 117) wordt het resultaat van een hiërarchische clusteranalyse op de groep studenten met $x=2v3$ weergegeven. Uit deze clusteranalyse blijkt dat kenniselementen met dezelfde uiterlijke verschijningsvorm bij elkaar worden geplaatst. Zo bevatten bijvoorbeeld 5 van de 7 elementen uit het cluster 2A1, 2A2, 2C2, 2C3, 6A4, 2B2, en 2B3 een of beide symbolen b en m . Andere clusters kunnen gekarakteriseerd worden door woorden als 'velden' of 'bereken' of een combinatie van woorden als 'energie en arbeid' en 'w'. De cognitieve structuur van deze zwakke studenten is dus als 'oppervlaktegericht' te omschrijven.



Figuur 3.1. Clusteranalyse (maximummethode) bij de groep met $x=2v3$ ($n=7$).

Tabel 3.2 geeft nog eens de clusters uit Figuur 3.1 weer. Er is dan soms nog iets te zien van een probleemgerichtheid, maar geen enkele maal wordt er een volledig probleemtype gevormd (zie bijvoorbeeld probleemtype 3A dat door midden geknipt wordt).

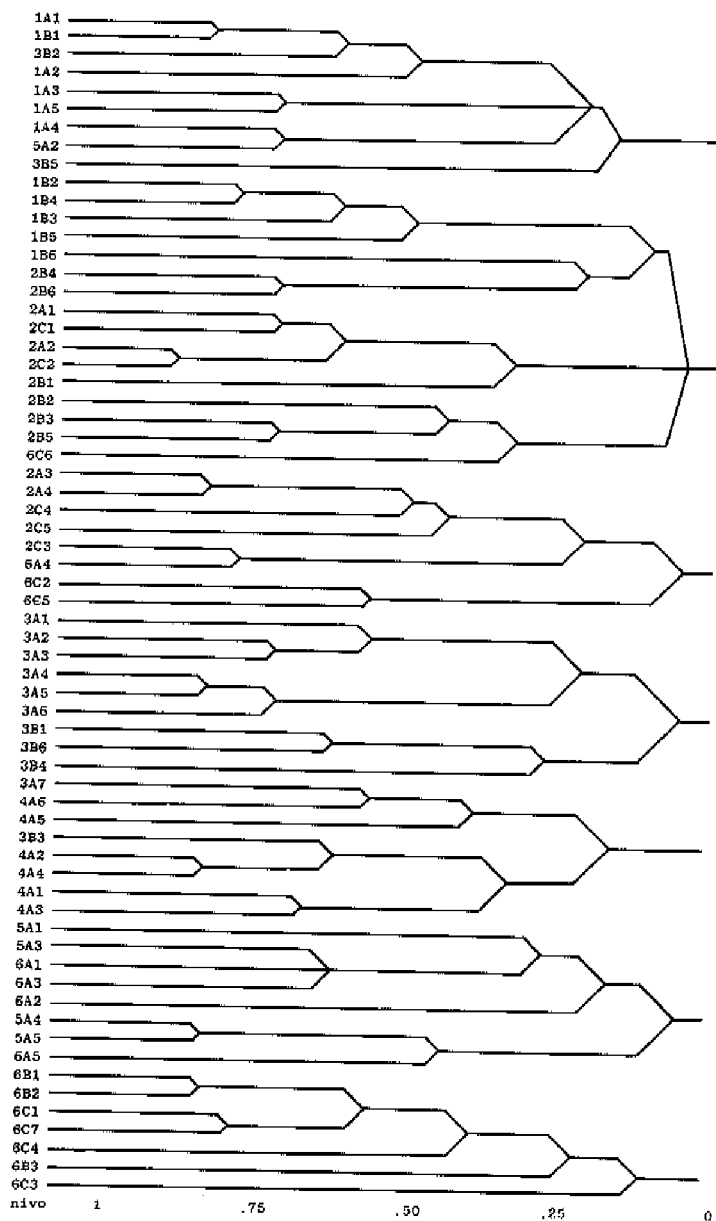
Tabel 3.2

Clusters binnen de groep met $x=2v3$

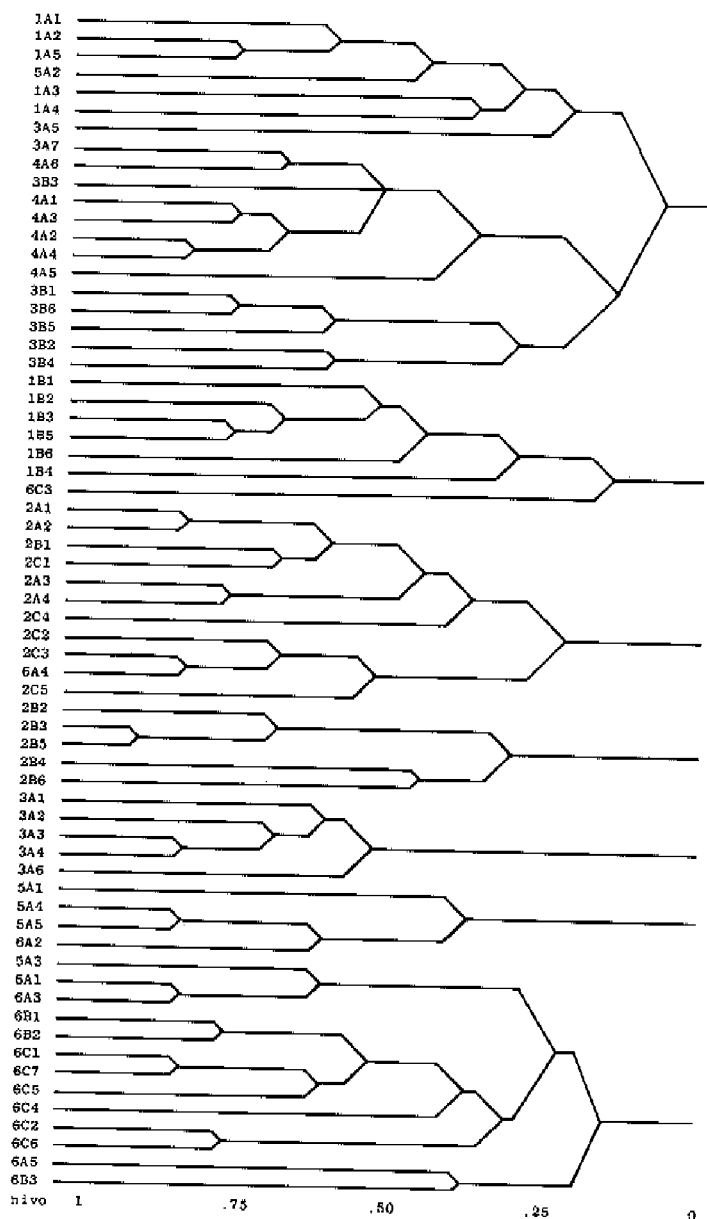
I	1A1	1A2	1A4	1B1	1B2	1B3	1B4	3B1	3B2	3B5	3B6	4A5	5A2
II	1A3	1A5	2A3	2A4	2B4	2C5	5A4	5A5	6A5				
III	1B5	1B6	2B5	2B6	2C4	3A7	4A6	6C6					
IV	2A1	2A2	2B2	2B3	2C2	2C3	6A4						
V	2B1	2C1											
VI	3A1	3A2	3A3										
VII	3A4	3A5	3A6	4A1									
VIII	4A2	4A3	4A4	3B3									
IX	3B4	6B3	6C3										
X	5A1	5A3	6A1	6A2	6A3								
XI	6B1	6B2	6C1	6C2	6C4	6C5	6C7						

Het beeld wordt iets gunstiger wanneer de groep met $x=2v3$ uitgebreid wordt tot de groep met $x=2v3v4$. Zoals in Figuur 3.2 (blz. 119) te zien is.

Figuur 3.2 wordt weer samengevat in Tabel 3.3 (blz. 120). Ter verduidelijking is daar één groot cluster in drie subclusters verdeeld. Opvallend binnen deze groep studenten is echter dat een aantal probleemkenmerken in cluster IIB relatief (gelet op het feit dat het een subcluster is) losstaan van de erbij behorende declaratieve en procedurele kennis. Dit zou erop kunnen duiden dat er in deze groep wat kan mankeren aan de 'beschikbaarheid van kennis' (zie par. 1.3.4). Dit geldt uiteraard nog sterker voor de groep met $x=2v3$.



Figuur 3.2. Clusteranalyse (maximummethode) bij de groep met $x = 2v8v4$ ($n=18$).



Figuur 3.3. Clusteranalyse (maximummethode) bij de groep met $x=7v8v10$ ($n=13$).

De sortering van de groep studenten met $x \geq 7$ laat een sortering zien die volgens probleemtypen is opgebouwd. Wanneer er typen problemen binnen één cluster zijn samengevoegd dan zijn deze typen problemen uit dezelfde 'hoofdgroep' afkomstig. Zo worden 6B en 6C en een groot deel van 6A in één groep geplaatst. Deze samenvoeging van probleemtypen in hoofdgroepen kan zorgen voor een hoge EN-score bij studenten in deze groep, zoals dat in 3.3.1 al geconstateerd werd. In Figuur 3.3 kan echter gelezen worden dat binnen die clusters de sterkste bindingen meestal optreden tussen kenniselementen van hetzelfde probleemtype. De sortering van deze groep studenten is dus typisch probleemgericht.

De duidelijke verschillen tussen de sorteringen van de verschillende groepen worden nog eens onderstreept door over de resultaten van de clusteranalyses een PG-score te berekenen.

Tabel 3.5

PG-score per subgroep

subgroep	n	EE	EN	PG
A. $x=2v3$	7	47	166	.22
B. $x=2v3v4$	18	86	128	.50
C. $x=7v8v10$	13	110	129	.66

De PG-scores in Tabel 3.5 zijn berekend over een indeling naar clusters inclusief de subclusters zoals in de Tabellen 3.3 en 3.4. Als deze subclusters niet apart genomen worden maar bij de berekening van de PG-score, het oorspronkelijke cluster gebruikt wordt, dan verandert de conclusie niet. Bij een indeling zonder subclusters is de PG-score in de groep met $x=2v3v4$, $PG=.54$ en in de groep met $x=7v8v10$ is $PG=.64$. (Overigens is de PG-score over een clusteranalyse bij de groep met $x=5v6$, $PG=.60$).

3.4 Conclusies en discussie

3.4.1 De cognitieve structuur van beginners

Zowel uit de gegevens over de gehele groep als uit de vergelijking van subgroepen blijkt een duidelijke ondersteuning van de hypothese. Gesteld kan worden dat goed presterende studenten hun kennis meer volgens adequate probleemttypen hebben georganiseerd dan slecht presterende studenten. De resultaten van de hiërarchische clusteranalyses in de verschillende groepen studenten illustreren dit. Ook de gevonden correlaties tussen PG-score en tentamencijfer zijn hoog te noemen. Dit geldt temeer daar men moet bedenken dat het tentamencijfer met veel meer factoren dan alleen de kennisstructuur van de student zal samenhangen. Naast andere factoren op het cognitieve vlak, zoals bijv. de mate waarin specifieke procedures beheerst worden, spelen hoogstwaarschijnlijk ook emotionele en motivationele factoren een rol (zie bijv. Boekaerts, 1983). Daarnaast lijken persoonlijkheidstrekken als de mate van nauwgezetheid (van belang bij het vermijden van rekenfouten), werktempo en dergelijke, niet te mogen worden verwaarloosd (zie Greenfield, 1979). Ondanks dat het niet gewaagd is te veronderstellen dat al deze factoren een zekere samenhang vertonen, mag gezien de complexiteit van het geheel geen perfecte correlatie tussen één geïsoleerde factor enerzijds en het tentamenresultaat anderzijds verwacht worden. Hierbij speelt tevens mee dat ook het tentamencijfer uiteraard een zekere meetfout bevat. In dit licht bezien zijn de in dit onderzoek bereikte correlaties veelzeggend.

Bij de vermelde conclusies moet steeds bedacht worden dat dit onderzoek correlatief van aard was. Er is slechts aangetoond dat de vorm van de cognitieve structuur samenhangt met prestatieniveau. Niet aangetoond is of de aanwezigheid van een cognitieve structuur die ingericht is volgens adequate probleemschemata het succes bij probleemoplossen bevordert. De resultaten uit dit onderzoek kunnen echter wel beschouwd worden als een steun in de rug voor deze veronderstelling.

Deze studie gaat ook niet in op de oorzaken van de gevonden verschillen in cognitieve structuur. Mogelijk studeren goed presterende studenten anders, gebruiken ze andere bestuderingsprocessen dan zwakke studenten. De vraag naar het ontstaan van verschillen in cognitieve structuur wordt momenteel onderzocht (Ferguson-Hessler & De Jong, 1986a).

Er bestaat een mogelijkheid dat de studenten uit dit onderzoek met lage cijfers ($x=2v3$) zonder voorbereiding naar het tentamen gekomen zijn om eens te kijken hoe dat tentamen eruit ziet. Als dit zo is dan is het uiteraard niet verwonderlijk dat de-

ze studenten geen probleemgerichte structuur hebben aangebracht bij het kaart-sorteren. In par. 3.3.2 werd kritiek geuit op het opnemen in onderzoek van een controlegroep bestaande uit personen die niet op de hoogte zijn van de vakinhoud. Het is echter niet aan te nemen dat de studenten met een $x=2v3$ uit dit onderzoek onvoorbereid op het tentamen zijn verschenen. Belangrijke argument in deze is dat het aantal kenniselementen dat door de studenten als 'onbekend' werd aangemerkt in het algemeen bijzonder laag is (aantal onbekend is over de hele groep gemiddeld 0-1,4 op 65 kenniselementen) en dat dit aantal niet sterk verschilt tussen de groep met $x=2v3$ ($\sigma=2,6$) en de groep met $x=7v8v10$ ($\sigma=0,8$). Bovendien is het zo dat de correlatie tussen PG-score en tentamencijfer slechts licht daalt wanneer de deelnemers met een laag cijfer ($x=2v3$) niet meegeteld worden, $r_{(PG,x)} = .40$ in de gehele groep.

3.4.2 De cognitieve structuur van experts

Zoals eerder genoemd trokken Chi et al. (1982) uit hun onderzoek de conclusie dat het kennisrepertoire van experts is opgebouwd uit probleemschemata. Reif & Heller (1982) nemen een enigszins afwijkend standpunt in. Zij suggereren dat de cognitieve structuur van experts *hiërarchisch* georganiseerd is. Dit houdt in dat hun kennis georganiseerd is op verschillende nivo's. Reif (1983) plaatst bijvoorbeeld op het hoogste niveau van zo'n hiërarchische structuur abstracte beschrijvingen van de functie die kenniselementen vervullen, bijvoorbeeld 'individual descriptor' of 'interaction descriptor'. Dit niveau vormt met andere woorden een soort meta-kennis van het vakgebied. Op lagere niveaus worden dan de centrale begrippen zelf ingevuld en op nog lagere niveaus worden deze uitgebreid met meer gedetailleerde kennis. Een dergelijke structuur heeft als voordeel dat kennis efficiënt en flexibel is opgeslagen, twee termen die vaker genoemd worden in verband met expertgedrag.

Om enig zicht te krijgen op de cognitieve structuur van experts werd aan vier experts, allen docent Natuurkunde aan de TH Eindhoven en zeer bekend met het vak B&M, gevraagd de sorteertaak uit te voeren. Deze docenten behaalden PG-scores van .09, .20, .40 en .41. Geen onverdeeld hoge scores. Omdat het aantal van vier personen onvoldoende is om analyses op uit te voeren wordt volstaan met een beschrijving van de sorteringen.

Eén expert gebruikte evenals de eerder aangehaalde student met een lage PG-score een typisch functionele indeling. Groepen werden gevormd op basis van beschrijvingen van kenniselementen. Zo gaf hij zijn stapels bijvoorbeeld labels als 'electrostatistische formules', 'mathematische technieken' etc. In de sorteringen van de andere drie experts konden hiërarchische kenmerken onderscheiden worden (zie

Ferguson-Hessler & De Jong, 1985; 1986b). Dit bleek ook uit de labels die zij gebruikten zoals 'theorie van het elektrisch veld' en 'toepassingen van het elektrisch veld'. Bovendien hadden twee van deze drie experts een stapel met de (functionele) titel 'wiskunde'.

De lage PG-scores van de experts zijn niet echt verbazingwekkend. De kennis van Electriciteit en Magnetisme zoals die deel uitmaakt van de in dit onderzoek betrokken vakinhoud vormt slechts een klein deel van de totale kennis van een expert over het klassieke electromagnetisme. Deze kennis bevat een aantal wetten en concepten die meer algemeen en abstract zijn dan de wetten en concepten die aan eerstejaars studenten worden onderwezen. Zulke kennis is moeilijk onder te brengen in een verzameling probleemschemata en is waarschijnlijk georganiseerd op een meer of minder hiërarchische wijze (zoals voorgesteld door Reif & Heller, 1982). Als een expert zijn kennis hiërarchisch heeft opgeslagen dan kan dit er toe leiden dat hij kenniselementen die niet tot hetzelfde probleemtype behoren bij elkaar sorteert omdat zij op een hoger nivo in de structuur met elkaar verbonden zijn. Een van de experts had bijvoorbeeld een stapeltje getiteld 'theorie van het elektrisch veld' dat 10 elementen bevatte uit 5 verschillende probleemtypen. In een hiërarchische structuur echter passen 8 van deze 10 elementen op dezelfde plaats, namelijk een specificatie van het begrip 'veld' (voor een inhoudelijke beschrijving van deze analyse zie Ferguson-Hessler & De Jong, 1986b). Ook het bij elkaar sorteren van kenniselementen die een bepaalde (functionele) rol in het oplosproces vervullen (zoals bijvoorbeeld mathematische technieken) heeft ongetwijfeld de PG-scores van de experts gedrukt. Voor (goede) studenten zijn deze technieken gerelateerd aan bepaalde probleemtypen. Experts kunnen deze technieken op vele plaatsen toepassen en hebben ze om die reden waarschijnlijk niet aan specifieke probleemtypen gekoppeld. Bij deze conclusies moet wel bedacht worden dat de kenniselementen zoals ze in de experimentele taak van deze studie gebruikt werden niet voldoende informatie verschaffen over de aanwezigheid van hiërarchische structuren.

Hiërarchische en probleemgerichte cognitieve structuren sluiten elkaar niet uit. Kenmerken van probleemsituaties kunnen op het laagste nivo van een hiërarchie gekoppeld worden aan relevante wetten en formules. Binnen zo'n structuur kunnen de principes voor het oplossen van verschillende typen problemen snel afgeleid worden. Dit kan gezien worden als een alternatieve verklaring voor de resultaten uit het Chi et al (1981) en Chi et al. (1982) onderzoek (zie par. 3.1.3). De deelnemers in het onderhavige onderzoek kregen geen criteria voor de vorming van stapeltjes in de sorteertaak. Het is te verwachten dat experts in staat zijn de 12 probleemtypen uit de 65 kenniselementen te construeren wanneer zij daar expliciet om gevraagd worden.

3.5 Slotconclusie

Vrij recent (Diekhoff, 1983) werd het belang van het meten van de cognitieve structuur van beginners nog eens benadrukt. Daarbij ging ook Diekhoff (1983) nog slechts uit van relaties tussen concepten. Op grond van de resultaten van het huidige onderzoek kan betoogd worden dat deze restrictie losgelaten moet worden en dat er aandacht moet zijn, zowel in instructie als beoordeling, voor de organisatie in het gheugen van kenmerken van probleemsituaties, declaratieve en procedurele kennis.

In de huidige studie werden aanwijzingen gevonden voor de aanwezigheid van hiërarchische structuren bij (een aantal) experts. Reif (1983) is voorstander van het onderwijzen van hiërarchische structuren aan beginners. Hij zegt echter ook dat een adequate cognitieve structuur voor beginners niet per se hetzelfde hoeft te zijn als een adequate structuur voor experts. Omdat zij de benodigde hoeveelheid kennis missen (overzicht over een groot deel van het vakgebied) kan een hiërarchische structuur wel eens buiten het bereik van beginners vallen. In dat geval suggereren de resultaten van het huidige onderzoek dat een probleemgerichte cognitieve structuur voor beginners een bruikbaar tussenstadium kan zijn op hun weg naar expertise.

Appendix bij hoofdstuk 3

Probleemtype 1A:

1A1 (KPS):

Het veld van een halfoneindig lange, rechte draad, dragende een lijnlading

1A3 (DK):

Superpositieprincipe

1A5 (PK):

Het vectorieel samenstellen van de bijdragen tot de elektrische veldsterkte van verschillende elementen

1A2 (DK):

De definitie van elektrische veldsterkte.

1A4: (DK)

$$\vec{dE} = \frac{Q\vec{e}}{4\pi\epsilon_0 r^2} dq$$

Probleemtype 1B:

1B1 (KPS):

Het veld van een cilindersymmetrische ladingsverdeling

1B3 (DK):

Electrische flux

1B5 (PK):

Het kiezen van een oppervlak waarop E_n constant is

1B2 (DK):

Omsloten lading

1B4 (DK):

Gesloten oppervlak

1B6 (PK):

Het berekenen van de volume-integraal $\iiint \rho(r) dV$

Probleemtype 2A:

2A1 (KPS):

Het veld van een halfoneindig lange, rechte draad, dragende een stroom

2A3 (PK):

Het vaststellen van de mogelijke richtingen, waarin het magnetische veld van een gegeven stroomdraad componenten kan hebben

2A2 (DK):

$$\vec{dB} = \frac{\mu_0 I (d\vec{l} \times \vec{e})}{4\pi r^2}$$

2A4 (PK):

Het optellen van de verschillende bijdragen tot de magnetische inductie in een gekozen richting

Probleemtype 2B:

2B1 (KPS):

Het veld van een cilinder-symmetrische stroomdichtheid $\vec{j}(r)$

2B3 (DK):

De lijnintegraal van $\vec{B}$ langs een gesloten kromme

2B5 (PK):

Het kiezen van een kring, waarop B_z constant of nul is.

2B2 (DK):

Omsloten stroom

2B4 (DK):

Kurketrekkerregel voor kringintegralen

2B6 (PK):

Het bepalen van de richting, waarin een kringintegraal berekend wordt

Probleemtype 2C:

2C1 (PKS):

Het veld op grote afstand van een willekeurige stroomkring

2C3 (DK):

$|\vec{m}| = IA$

2C5 (PK):

Het vectorieel samenstellen van meerdere magnetische momenten

2C2: (DK)

$$\vec{B} = - \frac{\mu_0 \vec{m}}{4\pi r^3} + \frac{3 \mu_0 (\vec{m} \cdot \vec{r}) \vec{r}}{4\pi r^5}$$

2C4 (PK):

Het onderverdelen van een niet vlakke stroomkring in meerdere, vlakke, deelkringen

Probleemtype 3A:

3A1 (PKS):

Twee dunne, geleidende, coaxiale cilinders, waarvan de ene langs de as verschuiven kan

3A3 (DK):

Definitie van capaciteit

3A5 (DK):

$$W = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$$

3A2 (PKS):

Kracht, die de geleiders van een condensator onderling uitoefenen

3A4 (DK):

$$W = \frac{1}{2} CU^2$$

3A6 (DK):

Toename van veldenergie = verrichte uitwendige arbeid + energie geleverd door spanningsbron

3A7 (PK):

Het berekenen van de lijn-integraal $\int \vec{E} \cdot d\vec{s}$ van een geleideroppervlak naar een andere.

Probleemtype 3B:

3B1 (PKS):

Gearde, bolvormige, geleider in het veld van een puntlading

3B3 (DK):

Equipotentiaalvlak met
 $V = 0$

3B5 (PK):

Het plaatsen van een denkbeeldige lading in het systeem

Probleemtype 4A:

4A1 (PKS):

Arbeid nodig om een puntlading in een gegeven electrisch veld te plaatsen

4A3 (DK):

$$p \int_{-\infty}^{\infty} \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

4A5 (DK):

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = 0$$

Probleemtype 5A:

5A1 (KPS):

De beweging van een geladen deeltje in een combinatie van een electrisch en een magnetisch veld

5A3 (DK):

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

3B2 (DK):

$E = 0$ binnen in een geleider

3B4 (DK):

$$\epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = q_{\text{ind}}$$

3B6 (PK):

Het berekenen van de ladingsdichtheid, die op een gearde geleider geïnduceerd wordt

4A2 (DK):

Definitie van potentiaal

4A4 (DK):

$V(r)$ is overal continue

4A6 (PK):

Het kiezen van een weg, waarlangs de lijnintegraal van de el. veldsterkte op een handige manier berekend kan worden

5A2 (DK):

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

5A4 (PK):

Het ontbinden van de kracht op een deeltje in componenten evenwijdig aan en loodrecht op de snelheid

5A5 (PK):

Het apart analyseren van de beweging van een deeltje in verschillende richtingen

Probleemtype 6A:

6A1 (KPS):

De versnelling van een stroomdraad die vrij is om te bewegen in een magnetisch veld

6A3 (DK):

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

6A5 (PK):

Het vectorieel samenstellen van de krachten die op verschillende stroomelementen werken

Probleemtype 6B:

6B1 (KPS):

Het spanningsverschil over een rechte geleider, die roteert in een magnetisch veld

6B3 (PK):

Het optellen van de in verschillende stukjes geïnduceerde spanningen

Probleemtype 6C:

6C1 (KPS):

De stroom in een stroomkring die beweegt in een magnetisch veld

6C3 (DK):

Wet van Faraday

6C5 (DK):

$$\Phi = L \cdot I$$

6C7 (PK):

Het bepalen van de richting van een geïnduceerde stroom

6A2 (DK):

$$\vec{F} = m \vec{a}_M$$

M = massamiddelpunt

6A4 (DK):

$$\vec{v} = \vec{r} \times \vec{B}$$

6B2 (DK):

$$U = v \cdot B \cdot l$$

6C2 (DK):

Magnetische flux

6C4 (DK):

Wet van Lenz

6C6 (PK):

Het berekenen van de oppervlakte integraal

$$\iint (\vec{B} \cdot \vec{n}) dA$$

4 Kennis van probleemsituaties

4.1 Inleiding

Het oplossen van natuurkundige problemen is een complex proces dat van de oplosser specifieke kennis en een bepaalde organisatie van die kennis vereist. Het is dan ook niet verwonderlijk dat de (beginnende) probleemoplosser er vaak niet in slaagt de juiste oplossing te bereiken.

Een probleemoplosser die beschikt over een cognitieve structuur die is opgebouwd uit adequate probleemschemata heeft een goede kans succesvol te zijn bij het oplossen van problemen (Chi et al., 1981). Belangrijk is dan wel dat hij er bij confrontatie met een probleembeschrijving in slaagt het juiste probleemschema uit zijn geheugen te halen. Een probleemschema moet daarom aangrijpingspunten bevatten waarmee een koppeling tussen het probleemschema en de aangeboden probleembeschrijving mogelijk wordt.

Wanneer saillante kenmerken van probleemsituaties in een probleemschema zijn opgenomen dan kunnen deze die brugfunctie vervullen. In het in het vorige hoofdstuk gerapporteerde onderzoek naar de cognitieve structuur van beginners werd daarom in de daar opgestelde probleemtypen een plaats ingeruimd voor kenmerken van probleemsituaties. Het is echter beter wanneer een oplosser niet afgaat op geïsoleerde kenmerken van situaties. Nesher & Teubal (1975) toonden aan dat het afgaan op geïsoleerde kenmerken van situaties weleens tot de selectie van de verkeerde oplossacties kan leiden. Eerst moet een student volgens deze auteurs een volledige voorstelling van de situatie maken voordat tot selectie van de oplosinformatie kan worden overgegaan. Paige & Simon (1966) lieten zien dat het direct omzetten van informatie uit de probleemsituatie in algebraïsche vergelijkingen desastreuze gevolgen voor de oplossing kan hebben. Zij benadrukken dat eerst een globale representatie opgebouwd moet worden van de bekende en onbekende elementen uit de probleemsituatie en de onderlinge relaties daartussen.

Het opbouwen van een representatie van de probleembeschrijving op zich (de initiële representatie) kan dus een belangrijke rol spelen in het oplosproces. Deze kan de toegang tot een probleemschema (en daarmee declaratieve en procedurele kennis) verschaffen. Bij de constructie van een initiële representatie is vooral één aspect van kennis actief nl. *kennis van probleemsituaties* (zie paragraaf 1.3.3). In het hier beschreven onderzoek zal daarom worden nagegaan in hoeverre goede en zwakke probleemoplossers verschillen in kennis van probleemsituaties.

4.1.1 De initiële representatie

De probleemrepresentatie die een probleemoplosser creëert is geen statisch gegeven. Vanaf het moment van aanbieding van de probleembeschrijving tot aan het bereiken van de oplossing is de representatie aan continue veranderingen onderhevig. De initiële representatie is een mentale voorstelling van de probleemsituatie op zich zonder dat daar nog allerlei informatie over de oplossing (declaratief en procedureel) aan is toegevoegd.

Aan de initiële representatie wordt steeds meer belang gehecht bij het oplossen van problemen. Dit is deels toe te schrijven aan een steeds groter wordende toenadering tussen het onderzoek naar tekstverwerking en probleemoplossen (Elshout & Wielinga, 1981; Verschaffel, 1984). In het tekstverwerkingsonderzoek wordt veel nadruk gelegd op het intern representeren van de elementen uit de tekst en hun onderlinge relaties. Ook een probleemsituatie kan als een (bepaald soort) tekst gezien worden.

Het belang dat aan de initiële representatie toegekend wordt schuilt echter vooral in het feit dat deze verondersteld wordt te functioneren als uitvalbasis voor de tweede fase in de representatieconstructie: de toevoeging van oplosinformatie. Riley et al. (1983) komen na een overzicht van onderzoek naar het oplossen van redactiesommen tot de conclusie dat kinderen bij toenemende leeftijd meer succes krijgen bij het oplossen van redactiesommen omdat zij een beter begrip van de situaties krijgen en niet omdat zij nieuwe oplosacties ('action schemata') gaan beheersen. Dit betekent in feite dat zij door een juiste initiële representatie toegang krijgen tot de van toepassing zijnde oplosinformatie. Illustratief is ook een onderscheid van Elshout & Wielinga (1978). Zij noemen drie clusters van functies die bij het oplossen van problemen vervuld moeten worden. Binnen het eerste cluster, de 'representatiefuncties' onderscheiden zij:

- a1 constructie van een representatie van extern gepresenteerde informatie,
- a2 zoeken in het kennisbestand van relevante kennis en mogelijke zinnige operaties en strategieën,
- a3 het integreren van deze informatie (a1, a2) in één zogenaamde probleemconceptie.

Deze toenemende belangstelling voor de initiële representatie hangt nauw samen met een toenemende nadruk op probleemoplossen als een sequentie van conditie-actie paren (Simon, 1980; Anderson et al., 1981). De initiële representatie kan dan als de conditie kant gezien worden. Greeno (1980) pleit voor een grotere aandacht in het onderwijs voor de conditiekant, m.a.w. leerlingen moeten leren wanneer welke informatie van toepassing is. Naar zijn idee liggen daar voor veel beginnende probleemoplossers de moeilijkheden.

De opbouw van een initiële representatie verloopt niet altijd zonder moeilijkheden, zoals uit verschillende onderzoeken blijkt. Verschaffel (1984) vond dit verschijnsel bijvoorbeeld bij kinderen die redactiesommen oplossen. Dit sluit aan bij de eerder in deze paragraaf vermelde conclusie van Riley et al. (1983) dat het bij kinderen die redactiesommen oplossen vaak ontbreekt aan een goede initiële representatie. Riley et al. (1983) merken op dat deze bewering niet alleen voor kinderen geldt. Dat wordt geïllustreerd in een onderzoek van Silver (1981). Bij studenten die zich redactiesommen moesten herinneren bleek dat de zwakke studenten zich de structuur van het probleem slechter konden herinneren dan goede studenten. De mate waarin een goede representatie van probleemsituaties aanwezig is, wordt hier dus in verband gebracht met het prestatienivo. Ook Mayer (1982) vond dat volwassenen moeilijkheden kunnen ondervinden met het opbouwen van een goede representatie van de probleemsituatie (ook hier betrof het redactiesommen).

De totstandkoming van een juiste en volledige initiële representatie kan gefaciliteerd worden door een juiste organisatie van kennis in het geheugen. Als de oplosser zijn kennis van elementen van probleemsituaties als losse stukjes door zijn geheugen verspreid heeft opgeslagen dan zal hij minder snel tot adequate initiële probleemrepresentaties komen dan wanneer hij de beschikking heeft over georganiseerde eenheden kennis die modellen van probleemsituaties bevatten. Deze modellen van probleemsituaties worden hierna ook *probleemsituatieschemata* genoemd. Als deze probleemsituatieschemata onderdeel zijn van de meer omvattende probleem-schemata met daarin ook de op de situatie van toepassing zijnde declaratieve en procedurele kennis, dan geeft de opbouw van een initiële representatie de toegang tot deze oploskennis.

Een aantal auteurs besteedt expliciet aandacht aan kennis van probleemsituaties als voorwaarde voor een succesvol oplosproces. Greeno (1980) onderscheidt drie soorten kennis die voor probleemoplossen nodig zijn: patroonherkenning, propositionele kennis en strategische kennis. Riley et al. (1983, p.165) onderscheiden naast andere soorten kennis "probleemschemata for understanding the various semantic relations....". Ook Frederiksen (1984) noemt patroonherkenning als een van de belangrijkste vaardigheden bij het oplossen van problemen. Sternberg (1983) onderscheidt een groot aantal processen (executive en nonexecutive) die bij probleemoplossen optreden. Hieronder noemt hij ook processen als 'probleem identificatie' en 'representatie selectie'. Kennis van (probleem-)situaties is een van de best onderzochte kennissoorten binnen het onderzoek volgens het expert-beginner paradigma. In de volgende paragraaf zal een overzicht van dat onderzoek gegeven worden.

4.1.2 Onderzoek naar kennis van probleemsituaties

Om zicht te krijgen op kennis van probleemsituaties bij personen zijn verschillende methoden gebruikt die alle gebaseerd zijn op hetzelfde principe. Dit principe houdt in dat personen een reproductie moeten maken van een eerder aangeboden probleembeschrijving, waarbij er voor gezorgd wordt dat deze reproductie niet op basis van directe herinnering (short term memory) tot stand kan komen. De reproductie zou dan een kwestie van 'reading from memory' worden zoals Rumelhart & Ortony (1977) dat uitdrukken. Het verhinderen van een directe herinnering kan bijvoorbeeld gebeuren door een aantal problemen achter elkaar te laten bestuderen en dan een cued recall te geven (Mayer, 1982), of door probleembeschrijvingen één keer te laten horen en vervolgens de reproductie te vragen (Verschaffel, 1984).

Het in deze onderzoeken gebruikte methodologische principe werd geïntroduceerd door de Groot (1946) in zijn onderzoek naar het onthouden van schaakstellingen. Experts en beginners kregen schaakstellingen zeer kort te zien en moesten deze daarna reproduceren. De zeer korte 'exposure time' maakte het de proefpersonen onmogelijk om de stellingen uit het hoofd te leren. De Groot (1946) vond dat experts (één grootmeester en één meester, De Groot zelf) betere reproducties van de aangeboden stellingen gaven dan beginners (een hoofdklassespeler en een ongeefende speler). De Groot's (1946) onderzoek was overigens weer geïnspireerd op een door hem aangehaald russisch onderzoek. In dat laatste onderzoek werden echter geen normale, vaak voorkomende, stellingen gebruikt maar 'a-typische' stellingen. De resultaten bij dit laatste onderzoek waren zo dat beginners en experts niet verschilden in reconstructieprestatie. De bevinding dat experts superieure reconstructies geven bij zinvolle stellingen en gelijke prestaties als niet-experts bij zinloze stellingen werd later nog aangetoond bij schaken door Chase & Simon (1973), bij het spel Go door Reitman (1976) en bij het spel Othello door Wolff et al. (1984).

Ook bij anderssoortig materiaal zijn deze resultaten verkregen. Zo lieten Egan & Schwartz (1979) proefpersonen elektronische circuits zeer kort (5 of 10 seconden) zien. Na elke expositie moesten de proefpersonen het aangeboden circuit reconstrueren met behulp van een blanco circuit en een groot aantal elementen die normaal gesproken in circuits voorkomen. Experts bleken deze taak veel beter uit te voeren dan beginners. Ook dit gold slechts voor zinvolle elektronische circuits, bij circuits waarin de elementen willekeurig geplaatst waren leverden de experts en de beginners gelijke reconstructieprestaties.

Auteurs als Chase & Simon (1973) leggen bij de verklaring van hun resultaten de nadruk op 'perceptual chunking', zoals Egan & Schwartz (1979) dit noemen. Dit houdt in dat een expert in staat is bepaalde configuraties in een stelling te herkennen. Het betreft hier puur visuele, ruimtelijke configuraties. Volgens Simon &

Gillmartin (1973) geeft de expert deze configuraties labels die opgeslagen worden in het korte duur geheugen. Tijdens de reproductie van de stelling kan hij gebruik maken van deze labels.

Egan & Schwartz (1979) merken op dat de 'perceptual chunking' benadering voorbij gaat aan algemene kenmerken van de aangeboden situatie. Zij stellen daarentegen de 'conceptual chunking hypothesis' voor. Opgemerkt moet worden dat deze hypothese niet fundamenteel afwijkt van de perceptual chunking hypothese maar daar eerder een nuancering en een uitbreiding van is. De conceptual chunking hypothese houdt in dat experts op grond van algemene kenmerken van de aangeboden situatie een conceptuele categorie in hun geheugen opzoeken. Deze conceptuele categorie helpt de experts om eenheden in de aangeboden situatie te reproduceren omdat deze conceptuele categorie in het geheugen alle functionele eenheden bevat. Egan & Schwartz (1979, blz. 157) geven als voorbeeld: "For example, skilled technicians know that a power supply is likely to include a source, rectifier, filter, regulator, etc. Without any further effect on the intake of information, knowing the conceptual category of a display may result in grouping output by its functional units."

Het onderzoek dat Egan & Schwartz (1979) deden betrof elektronische circuits en dus ruimtelijk visueel gepresenteerde situaties waarin puur perceptual chunking in principe wel een rol zou kunnen spelen. Er is echter ook onderzoek waarin niet ruimtelijk visueel gepresenteerde (probleem)situaties onthouden en gereproduceerd moeten worden en waar soortgelijke resultaten als bij De Groot (1946), Reitman (1976), Egan & Schwartz (1979) en Wolff et al. (1984) gevonden werden. Conceptual chunking lijkt in dat soort gevallen de meest adequate verklaring. Zo lieten McKeithen et al. (1981) een uit 31 regels bestaand ALGOL W programma twee minuten lang bestuderen door experts, beginners en 'intermediates' (dat waren studenten die een ALGOL W cursus doorlopen hadden). Na de bestudering werd een recall taak gegeven. Experts presteerden daarop beter dan de beginners en de intermediates zaten daar qua prestatie tussenin. De verschillen tussen deze groepen verdwenen vrijwel als de regels van het ALGOL W programma in een aselechte volgorde aangeboden werden. Deze auteurs wijzen er nog eens op dat bij het door hen gebruikte experimentele materiaal geen herkenning 'at glance' kan optreden zoals bij go of schaken. Er ontstaan volgens hen dan ook veel minder snel 'pictorial representations'.

De veronderstelling dat de betere prestatie van experts in de hier behandelde onderzoeken niet louter aan 'perceptual chunking' toegeschreven hoeft te worden, wordt ook ondersteund door onderzoek naar het onthouden van teksten. Bij (lange) verhalende of informatieve teksten kan uiteraard geen sprake zijn van ruimtelijke perceptuele chunking vooral niet wanneer die teksten in auditieve vorm worden

aangeboden. Anderson, Pichert & Shirey (1983) toonden daarbij bovendien aan dat kennis (i.c. het door de lezer of luisteraar geactiveerde schema) zowel tijdens de opslag als tijdens de recall werkzaam is. Anderson et al. (1983) lieten personen in hun onderzoek een tekst lezen over twee jongens die, terwijl ze spijbelen, in het huis van een van de twee rondlopen. Het verhaal bevat een grote hoeveelheid informatie over het huis en over de bezittingen van de familie. Een deel van deze informatie is erg interessant voor een potentiële koper van het huis, een ander deel voor een inbreker. De proefpersonen kregen twee minuten om deze tekst te lezen en kregen vervolgens een recall taak. De helft van de proefpersonen kreeg de opdracht de tekst te lezen vanuit het perspectief van een koper, de andere helft kreeg de opdracht te lezen alsof ze van plan waren in te gaan breken. Na het lezen en voordat de herinneringstaak plaats vond werd de helft van elke groep gevraagd om van perspectief te verwisselen dus of van koper naar inbreker, of van inbreker naar koper. De andere helft van de proefpersonen deed de herinneringstaak dus vanuit hetzelfde perspectief dat ze tijdens het lezen hadden. Zowel het eerste als het tweede perspectief bleek van invloed op het zich herinneren van voor die perspectieven belangrijke informatie uit de tekst. Hieruit bleek dus dat het schema dat door de proefpersonen geselecteerd werd niet alleen tijdens de opslag maar ook tijdens het herinneren werkte.

Chiesi, Spillich & Voss (1979) en Spillich, Vesonder, Chiesi & Voss (1979) deden onderzoek naar verschillen in het onthouden van informatie uit een tekst over baseball door personen die veel en personen die weinig kennis van die sport hadden. De tekst werd de deelnemers aan het onderzoek aangeboden op geluidsband, de band duurde 5'5". Na het beluisteren werd hen gevraagd een korte samenvatting te schrijven (5'), zoveel mogelijk informatie op te schrijven als ze zich konden herinneren (15') en kregen ze nog veertig vragen over de tekst. Personen die meer kennis van baseball hadden herinnerden zich meer en herinnerden zich vooral meer relevante informatie. De voorsprong voor deze groep kenners trad niet op bij het herinneren van irrelevante detail informatie (bijv. de kleur van de shirts van de partijen).

Het onderhavige onderzoek richt zich op kennis van probleemsituaties in de natuurkunde. Het betreft hier opgaven zoals die op tentamens voor kunnen komen. Onderzoek dat qua onderwerp hier het dichtste bij komt is onderzoek naar het reproduceren van redactiesommen.

Mayer (1982) liet 24 'undergraduates' 8 redactiesommen achter elkaar bestuderen gedurende 2 minuten elk. Na deze bestudering kregen zij een cued recall. Hierin bleek dat detailinformatie veel minder vaak in de reproducties voorkwam dan relevante informatie uit de probleemstellingen. Bovendien hing de kans op een juiste

herinnering van een probleemstelling samen met de frequentie waarmee een probleemstelling voorkwam in de studieboeken. Mayer (1982) concludeert hieruit dat zijn proefpersonen bij de taak van bestuderen en herinneren van de redactiesommen gebruik maakten van probleemsituatieschemata.

In een studie van Verschaffel (1984) moesten jonge kinderen redactiesommen die zij gehoord hadden navertellen. Leerlingen die hoog scoorden bij de oplossing van dit soort sommen waren beter in het navertellen dan leerlingen die laag presteerden. Op een slecht gebouwd onoplosbaar vraagstukje waren de prestaties van beide groepen gelijk.

Silver (1981) liet zijn proefpersonen redactiesommen oplossen. Op grond van hun schoolprestaties was de groep proefpersonen opgedeeld in een groep zwakke en een groep goede oplosers. Op verschillende momenten na het oplossen (varierend van vlak erna tot vier weken erna), werd hen gevraagd alles wat zij belangrijk hadden gevonden in de probleembeschrijving en de oplossing op te schrijven. Silver (1981) komt tot de conclusie dat goede probleemoplosers beter de structuur van een probleem onthouden dan zwakke oplosers. Details werden door beide groepen vrij goed onthouden, tussen beide groepen bestond daarin vrijwel geen verschil. Opgemerkt moet wel worden dat in de studie van Silver (1981) enigszins duister blijft wat hij precies onder de structuur van een probleem verstaat en hoe de scoring van de reproducties precies heeft plaatsgevonden.

Op grond van bovenstaande onderzoeken kan geconcludeerd worden dat experts beter zijn dan beginners in het opslaan en reproduceren van probleembeschrijvingen uit het (vak-)gebied waarin zij expert zijn. Hieruit kan afgeleid worden dat experts kennis van probleemsituaties als eenheden (probleemsituatieschemata) in hun geheugen georganiseerd hebben en dat die organisatievorm bij beginners ontbreekt. Twee bevindingen uit deze onderzoeken zijn daarbij belangrijk:

- a Experts presteren alleen beter op zinvolle (probleem-)situaties en niet op situaties die weliswaar uit termen uit het (vak-)gebied zijn samengesteld maar die geen zinnig geheel vormen.
- b Experts presteren beter op het onthouden van relevante informatie uit de situatie dan op detailinformatie.

Deze laatste bevindingen ontkrachten de alternatieve hypothese dat de superieure prestatie van experts toe te schrijven zou zijn aan een veel groter vermogen tot puur onthouden en geven steun aan de veronderstelling dat experts de beschikking hebben over schemata van (probleem-)situaties.

4.1.3 Onderzoeksvragen

In de voorafgaande paragrafen werden de plaats en het belang van de initiële representatie in het oplosproces toegelicht. Aangevoerd werd dat de constructie van een adequate initiële representatie gefaciliteerd wordt door de aanwezigheid van probleemsituatieschemata in het geheugen van de oplosser. Ook werden methoden die gebruikt kunnen worden om zicht te krijgen op de aanwezigheid van probleemsituatieschemata besproken.

Centraal in het onderhavige onderzoek staat de vraag in hoeverre beginnende probleemoplossers (eerstejaarsstudenten die natuurkundige opgaven op moeten lossen) de beschikking hebben over probleemsituatieschemata. Uit het in paragraaf 4.1.2 behandelde onderzoek zou de conclusie getrokken kunnen worden dat beginners in het algemeen dit soort kennis ontbeert. De vraagstelling in het onderhavige onderzoek is echter toch gerechtvaardigd gezien het nivo waarop 'beginners' in dit onderzoek gedefinieerd worden (zie ook 1.4.2).

In het onderhavige onderzoek worden beginners gedefinieerd als eerstejaars TH studenten die bekend zijn met het domein dat onderwerp van het onderzoek is. Zij hebben zich voorbereid op een tentamen en hebben dat tentamen afgelegd. Zij zijn dus vergelijkbaar met de 'intermediates' uit het onderzoek van McKeithen et al. (1981). Mede gelet op de prestaties van deze 'intermediates' uit de studie van McKeithen et al. (1981, zie paragraaf 4.1.2) is de vraag nu gerechtvaardigd of beginners van dat nivo de beschikking hebben over probleemsituatieschemata.

De groep aldus gedefinieerde beginners wordt niet als homogene groep behandeld. Dat er verschillen in kennis binnen zo'n groep bestaan blijkt bijvoorbeeld uit de altijd grote variëteit in tentamencijfers. In hoofdstuk 3 van dit proefschrift werden reeds verschillen in de organisatie van kennis tussen succesvolle en niet succesvolle beginnende probleemoplossers in de natuurkunde geconstateerd. Goede oplosers hadden hun kennis opgebouwd volgens probleemschemata. Bij zwakke oplosers, die niet voor de goede onderdeden wat betreft de hoeveelheid kennis, ontbrak deze vorm van organisatie. In dat onderzoek werden probleemschemata opgevat als bestaand uit declaratieve kennis, procedurele kennis en kennis van *kenmerken* van probleemsituaties. Er werd dus niet uitgegaan van gehele probleemsituaties maar van geïsoleerde kenmerken daaruit. Verder (par. 4.1) werden de nadelen hiervan onderstreept. Deze overwegingen hebben tot de volgende hoofdvraagstelling voor dit onderzoek geleid:

1 In hoeverre hebben beginnende probleemoplossers in de natuurkunde de be-

schikking over probleemsituatieschemata en bestaan hierin verschillen tussen goede en zwakke oplosers?

In paragraaf 4.1.1 werd aangevoerd dat een juiste initiële representatie de conditie tot de juiste oplosinformatie kan vormen. De voorwaarde daarvoor is dat probleemsituatieschemata binnen de kennis van de oplosser ingebed zijn in de meer uitgebreide probleemschemata. Dan geldt wat Rumelhart (1980) omschrijft als: "Thus understanding the problem and solving it is nearly the same thing" (p. 57). De tweede vraagstelling in het onderzoek is daarom:

- 2 Zijn probleemsituatieschemata bij beginnende probleemoplosers opgenomen in meer algemene probleemschemata, m.a.w. leidt de activatie van een probleemsituatieschema tot de selectie van de juiste oplosinformatie?

In andere domeinen dan de natuurkunde is de aanwezigheid van figurale mentale voorstellingen in het oplosproces onderzocht. Hayes (1973) vond aanwijzingen voor het optreden van visuele voorstellingen bij het oplossen van staartdelingen, een type opgaven dat niet direct tot visualisatie aanleiding lijkt te geven. Ook Van der Waerden (1983) spreekt van het gebruik van 'anschauliches Denken' in de wiskunde. Een van de vakgebieden waarin aandacht aan het gebruik van visuele voorstellingen is geschonken is de scheikunde. Vos & Zuur (1983) lieten één proefpersoon hardop denkend 17 verschillende ruimtelijke structuren bij elkaar leggen op gelijkheid. De proefpersoon bleek verschillende fouten te maken. Deze fouten zorgden ervoor dat hij geen juiste representatie kon maken. Ook Baker & Talley (1974) lieten zien dat het vermogen tot visualisatie bij chemie een belangrijke rol speelt.

Natuurkundige problemen, zoals die voorkomen op tentamens Electromagnetisme (het voor dit onderzoek gekozen onderwerp) van eerstejaars studenten, bestaan vrijwel altijd uit situaties die concrete objecten (zoals spoelen, condensatoren) en/of abstracte objecten (zoals stromen, velden) bevatten die in een ruimtelijke en/of temporele relatie tot elkaar staan. In de probleembeschrijvingen worden deze situaties zeer vaak schematisch, visueel weergegeven. Wanneer zo'n weergave niet reeds gegeven is dan is deze vrijwel altijd te construeren door de oplosser. Gezien dit kenmerk van dit soort natuurkundige opgaven is het zeker niet ondenkbaar dat de oplosser de representatie van een probleem(-situatie) de vorm geeft van een schematische, visuele voorstelling. In verband hiermee werd onderzoeksvraag 3 geformuleerd:

- 3 In welke vorm (visueel of propositioneel) zijn probleemsituaties opgeslagen in het geheugen en zijn hierin verschillen tussen goede en zwakke studenten?

Gesteld kan worden dat het onderzoek naar geheugeninhoud in semantisch rijke domeinen niet overloopt van de belangstelling voor visuele inhouden. Dit komt uiteraard mede omdat visuele inhouden nog moeilijker grijpbaar zijn dan semantische, propositionele informatie. Zo concluderen Eriksen & Simon (1980) bijvoorbeeld dat visueel opgeslagen informatie niet meetbaar is met een toch vaak gebruikte methode als hardop denken: "Thinking aloud is an appropriate method as long as STM contains verbal information". Shepard (1978) stelt in dit verband: "Because of their private, inaccessible nature, mental images and related nonverbal processes have been relatively little studied by cognitive psychologists" (p. 159). Ook in het onderhavige onderzoek zullen geen stevige conclusies omtrent de vorm van probleemsituatieschemata getrokken kunnen worden. De laatste vraagstelling in het onderzoek is dan ook vooral exploratief van aard.

4.2 Opzet en uitvoering van het onderzoek

In het onderzoek moesten de deelnemers (eerstejaars TH-studenten) vijf taken uitvoeren. Deze vijf taken waren alle opgezet volgens hetzelfde principe: studenten kregen zeer kort een aantal beschrijvingen te zien van probleemsituaties uit het vak Electromagnetisme en moesten onmiddellijk na elke beschrijving een reconstructie van de probleemsituatie geven. Op grond van de resultaten van een tentamen voor het vak Electromagnetisme werd de groep deelnemers samengesteld uit succesvolle en niet succesvolle probleemoplossers.

De door de studenten gegeven reconstructies werden beoordeeld op de aanwezigheid van onderdelen uit de probleembeschrijving, waarbij een onderscheid naar soorten onderdelen (relaties, specificaties bijv.) gemaakt werd. Bovendien werd in één van de 5 taken nog eens extra, overbodige informatie in de probleembeschrijvingen opgenomen. Daarnaast kregen studenten ook nog een keer een 'onzin' probleem ter bestudering en reconstructie voorgelegd. Door een vergelijking te maken tussen de mate van aanwezigheid van belangrijke en minder belangrijke informatie uit de beschrijvingen in de reconstructies en door de reconstructies van de zinvolle beschrijvingen te vergelijken met die van het 'onzin' probleem kon afgeleid worden of de deelnemers kennis hadden van probleemsituaties en of daarin verschillen bestonden tussen goede en zwakke studenten (vraagstelling 1).

Vraagstelling 2 betrof de koppeling van kennis van probleemsituaties met oplossingsinformatie. Om hier een indruk van te krijgen werd in één van de vijf taken aan de studenten gevraagd om na de reconstructie van de probleemsituaties alle oplossingsinformatie die ze bij die situaties konden bedenken op te schrijven.

De in de taken aangeboden probleembeschrijvingen werden soms in figuur en soms in woorden gegeven. Ook was er variatie in de vorm waarin de reconstructie gegeven moest worden (figuur of woorden). Deze variaties werden aangebracht om enig zicht te krijgen op een antwoord op vraagstelling 3 die betrekking had op de vorm van de probleemsituatieschemata in het geheugen. De verschillende delen van het onderzoek zullen nu worden toegelicht.

4.2.1 De vakinhoud

Voor het onderzoek werd gekozen voor het vak Electromagnetisme I. Dit vak wordt gegeven in het derde trimester van het eerste studiejaar aan studenten van de Afdeling Electrotechniek van de THZ. Behandeld worden: statische elektrische en magnetische velden in vacuüm, elektrische en magnetische effecten van materie, inductieverschijnselen, kracht op bewegende lading en de wetten van Maxwell voor vacuüm.

4.2.2 Deelnemers aan het onderzoek

Deelnemers aan het onderzoek waren eerstejaars studenten Electrotechniek. Ongeveer twee weken voor hun deelname aan het onderzoek hadden zij een tentamen Electromagnetisme afgelegd. Na het bekend worden van de cijfers werden studenten met een 2, 3 of 4 (zwakke studenten), en studenten met een 8, 9 of 10 (goede studenten) telefonisch benaderd en gevraagd aan het onderzoek deel te nemen. Studenten met een 1 voor het tentamen werden niet gevraagd deel te nemen omdat de kans aanwezig was dat zij zich in het geheel niet voorbereid hadden op het tentamen. De deelnemers ontvingen voor hun deelname een bedrag van f20 (f10 per uur). De onderzoekers waren niet betrokken bij de samenstelling en beoordeling van de tentamens.

Deze werving heeft tweemaal plaatsgevonden, een keer na het reguliere tentamen en een keer na de eerste herkansing. Het onderzoek werd dus ook twee keer uitgevoerd. In totaal namen 23 studenten aan het onderzoek deel, van wie 12 zwakke studenten (4 keer een 4, 6 keer een 3 en 2 keer een 2) en 11 goede studenten (3 keer een 8, 6 keer een 9 en 2 keer een 10).

4.2.3 De experimentele taken

Opbouw van de experimentele taken

De deelnemers aan het onderzoek kregen achtereenvolgens 5 taken uit te voeren. Elk van deze taken bestond uit het zeer kort lezen van een aantal probleembeschrijvingen en het vervolgens (na het lezen van elke probleembeschrijving) reconstrueren hiervan.

Taak A bestond uit vier probleembeschrijvingen. De eerste twee daarvan (A1 en A2) waren in woorden gegeven en de laatste twee (A3 en A4) in figuur. Studenten kregen bij taak A de opdracht de reconstructies in woorden te geven.

Taak B bestond eveneens uit vier probleembeschrijvingen, waarvan ook de eerste twee (B1 en B2) in woorden waren gegeven en de laatste twee (B3 en B4) in figuur. Het verschil met taak A bestond hierin dat de studenten in taak B de reconstructies niet in woorden maar in figuur moesten geven.

Taak C bevatte eveneens vier probleembeschrijvingen. De eerste twee (C1 en C2) waren in woorden gegeven en de laatste twee (C3 en C4) in figuur én woorden. Dat laatste is de vorm waarin probleembeschrijvingen meestal op tentamens voorkomen. De vorm waarin zij de reconstructies gaven konden de deelnemers in taak C zelf kiezen. Na het lezen en de reconstructie van een probleembeschrijving werd in taak C van de deelnemers gevraagd om alle informatie die zij van belang achtten voor de oplossing van dat probleem op te schrijven.

Taak D bestond uit twee probleembeschrijvingen. Beide (D1 en D2) waren in woorden gegeven en de vorm waarin de reconstructie gegeven kon worden was naar eigen keuze. De twee probleembeschrijvingen uit taak D weken in zoverre van de beschrijvingen uit de andere taken af dat zij extra overbodige informatie bevatten.

Taak E, de laatste taak, bestond uit één probleembeschrijving (E1) en twee rijen van 20 termen uit het vakgebied E&M (E2 en E3). De probleembeschrijving in taak E betrof een fysisch absurde situatie, deze probleembeschrijving wordt hierna ook aangeduid met de term 'onzinprobleem'. De twee rijen van 20 termen moesten evenals de probleembeschrijvingen kort bestudeerd en daarna gereproduceerd worden. Deze laatste twee taken werden toegevoegd om een indruk te krijgen van het vermogen van de deelnemers om te memoriseren.

In Tabel 4.1 wordt de samenstelling van de taken wat betreft de vorm van de aanbieding en de reconstructie van de probleembeschrijvingen schematisch weergegeven.

Tabel 4.1

Overzicht van de vorm van de probleembeschrijvingen en de reconstructies over de experimentele taken

Taak	Aantal	AANBIEDING		RECONSTRUCTIE		
		Woord	Figuur	Woord+Fig.	Woord	Figuur Vrij
A	4	A1,A2	A3,A4		A1 t/m A4	
B	4	B1,B2	B3,B4			B1 t/m B4
C	4	C1,C2,		C3,C4		C1 t/m C4
D	2	D1,D2				D1,D2
E	1	E1				E1

Vraagstelling 1 uit het onderzoek kon beantwoord worden door een vergelijking te maken tussen de reconstructies bij de taken A t/m D met die van taak E en door binnen de reconstructies van A t/m D zelf te kijken of relevante informatie beter gereconstrueerd werd dan irrelevante of detailinformatie. De extra opdracht bij taak C had betrekking op vraagstelling 2 en door een vergelijking te maken tussen de reconstructies die in verschillende vorm gegeven moesten worden en dat in relatie tot de vorm van de aanbieding kon een indruk gekregen worden van een antwoord op vraagstelling 3.

De probleembeschrijvingen

Omdat elke student in het onderzoek elke taak uitvoerde kon geen enkele probleembeschrijving dezelfde inhoud hebben. In het onderzoek werden daarom in totaal 15 verschillende probleembeschrijvingen gebruikt. Deze werden gebaseerd op problemen die in voormalige tentamens voorgekomen waren.

De uit tentamens gehaalde probleembeschrijvingen werden aangepast wat de vorm betreft om beschrijvingen te krijgen die louter uit woorden of uit een figuur bestonden. Aan de tentamenproblemen die de basis vormden voor D1 en D2 werd ten behoeve van het onderzoek extra informatie toegevoegd.

De enige probleembeschrijving die niet op een tentamenprobleem gebaseerd was, was uiteraard E1, het onzinnige probleem. Dit probleem werd speciaal voor het onderzoek geconstrueerd. Het was geheel opgebouwd uit termen die normaal gesproken ook in E&M problemen voorkomen en klopte ook taalkundig, maar was een fysisch absurde situatie.

Alle 15 probleembeschrijvingen (en de 2 rijen van 20 termen uit taak E) zijn opgenomen in de Appendix bij hoofdstuk 4 (blz. 167).

Bestuderings- en reconstructietijden

De tijd die studenten kregen om een probleembeschrijving door te lezen hing samen met de omvang van de beschrijving. Deze tijd moest net voldoende zijn om een probleembeschrijving één keer goed door te lezen. Voor de problemen die in woorden waren gegeven werd de bestuderingstijd vastgesteld door voor de eerste 4 regels 3 seconden per regel te rekenen, voor de tweede 4 regels 4 seconden per regel, voor de derde 4 regels 5 seconden per regel etc. Bij de in figuur gegeven situaties werd 15 seconden gegeven, behalve bij B4 die meer informatie bevatte dan de andere drie in figuur gegeven situaties. Voor B4 werd 20 seconden gegeven. Bij de beschrijvingen C3 en C4, die uit figuur en woorden bestonden, werd geen optelsom van de tijd voor woorden en figuur gemaakt maar werd de tijd iets korter genomen. De reden hiervoor was dat woorden en figuur zeer vaak overlappende informatie bevatten. Voor de bestudering van de twee rijen termen uit taak E was telkens 30 seconden beschikbaar. Tabel 4.2 (volgende pagina) geeft een overzicht van de bestuderingstijden.

Voor elke reconstructie die in woorden gegeven moest of kon worden (de taken A, C en D) werd 4 minuten de tijd gegeven. Bij taak E kon de reconstructie ook in woorden gegeven worden maar hier leek 3 minuten voldoende. Omdat een reconstructie in figuur minder tijd kost werd bij taak B voor de reconstructie 3 minuten uitgetrokken. Ook voor de reproductie van de rijen termen was 3 minuten beschikbaar. In taak C werd voor het geven van de oplosinformatie na de reconstructie (apart) 2 minuten gegeven. Al deze tijden waren ruim voldoende. De vastgestelde bestude-

Tabel 4.2

Bestuderingstijden per probleembeschrijving

Probl.	Tijd	Probl.	Tijd	Probl.	Tijd	Probl.	Tijd
A1	20"	B1	20"	C1	35"	D1	55"
A2	40"	B2	30"	C2	25"	D2	40"
A3	15"	B3	15"	C3	30"	E1	30"
A4	15"	B4	20"	C4	35"	E2	30"
						E3	30"

rings- en reconstructietijden waren uitgetest in een proefafname. In totaal duurde een onderzoekszitting iets minder dan 2 uur.

Procedure

De onderzoekszittingen vonden ongeveer 1-2 weken na het tentamen plaats. Omdat niet alle studenten op dezelfde tijd aanwezig konden zijn werden verschillende zittingen georganiseerd. Per zitting verschenen meestal zo'n vier studenten.

De deelnemers aan het onderzoek kregen de vijf onderzoekstaken na elkaar uit te voeren in één zitting. Bij de aanvang van de zitting ontvingen zij eerst een algemene instructie waarin het doel en de opzet van het onderzoek werd uiteengezet. Voor elke taak ontvingen zij bovendien een aparte instructie. Hierin werd verteld dat zij probleembeschrijvingen heel kort te zien kregen en dat zij daarna zonder de beschrijving erbij, zo precies mogelijk het bestudeerde probleem moesten reconstrueren. Bovendien werd in elke instructie verteld wat bij die specifieke taak van hen verwacht werd, bijvoorbeeld of zij in figuur of in woorden moesten reconstrueren (zie de boven gegeven omschrijving van elke taak). Alles werd bovendien nog eens mondeling toegelicht.

Voor elk van de vijf taken werd een apart taakboekje samengesteld. Op de eerste bladzijde hiervan kon de student zijn naam en identiteitsnummer invullen, de tweede bladzijde bevatte de specifieke taakinstructie. Daarna volgden de probleembeschrijvingen, elk op een apart blad, met na elke beschrijving twee lege bladzijden. Op een teken van de proefleider konden de studenten beginnen met het lezen van een probleembeschrijving. Op zijn/haar teken stopten zij daar ook mee, sloegen het blad om en gaven op de lege bladzijde de reconstructie. Als de tijd voor de reconstructie voorbij was deelde de proefleider dat mee waarna de studenten de bladzijde

met de reconstructie omsloegen en op de tweede lege bladzijde terecht kwamen. Hier wachtten zij even tot de proefleider aangaf dat omgeslagen kon worden naar de volgende probleembeschrijving.

Om de studenten aan deze (vrij ingewikkelde) procedure te laten wennen werd taak A gestart met een oefenprobleem. Dat probleem werd later niet meer bij de analyse van de gegevens betrokken. Na het oefenprobleem werd de studenten gevraagd of er nog onduidelijkheden in de taak zaten. Taak C week in zoverre van de hier geschetste gang van zaken af dat na de reconstructie een extra blad was ingevoegd om informatie betreffende de oplossing op te schrijven. Ook hier bepaalde de proefleider wanneer omgeslagen kon worden.

Aan het eind van elke taak werd aan de studenten schriftelijk een aantal vragen gesteld betreffende de taak en hun omgang met probleemsituaties in het algemeen.

4.2.4 Beoordeling van de reconstructies

Om de door de studenten gegeven reconstructies te beoordelen werd voor elke probleembeschrijving apart een beoordelingsmodel opgesteld. In die modellen werden onderdelen van de probleembeschrijvingen opgenomen die ingedeeld werden in verschillende categorieën. Dit waren:

1. Componenten

Onder componenten werd verstaan de objecten die in een probleembeschrijving voorkwamen. Dit betrof zowel tastbare objecten (geleiders, bakken, platen, cilinders etc.) en niet tastbare objecten (stromen, velden etc.). Onder componenten werden ook de eigenschappen van deze objecten gerekend zoals metaal, tijdfanhankelijkheid, electrisch, magnetisch etc. Als er geen verwarring met de eigenschappen van andere in de beschrijving aanwezige objecten mogelijk leek dan werden deze eigenschappen samen met het object als één component gerekend (electrisch veld, lange geleider).

2. Relaties

Relaties betroffen de ruimtelijke en temporele verhoudingen tussen de objecten uit de probleembeschrijving. Als bijvoorbeeld in de beschrijving sprake was van een cilinder met een laagje diëlectrisch materiaal aan de buitenzijde, dan vielen cilinder, laagje en diëlectrisch materiaal onder de componenten en werd als relatie opgevoerd dat het diëlectrisch materiaal aan de buitenzijde van de cilinder zat.

Onder 'componenten' werd aangegeven dat een object met zijn eigenschap als één component beschouwd werd, in het geval dat er van verwarring geen sprake kon zijn. Als die verwarring wel mogelijk was, dan werden de eigenschap en het object apart als component opgenomen. De plaatsing van de juiste eigenschap bij

het juiste object werd dan als een relatie gezien. Zo werd in het bovenstaande voorbeeld tot de relaties gerekend dat het 'diëlectrisch materiaal' in de vorm van een laagje aanwezig was. Noemde een student in zijn reconstructie wel de component 'laagje' maar gaf hij die eigenschap aan een ander materiaal dan aan het diëlectrische materiaal dan kreeg hij de component 'laagje' wel als goed gerekend maar de relatie als fout.

3. Specificaties

Als specificaties werd alle detailinformatie beschouwd die niet wezenlijk tot de samenstelling en oplossing van het probleem bij kon dragen. Hieronder vielen specifieke benamingen (snelheid 'v', driehoek 'PQR') en exacte numerieke waarden (hoek van 45° , dikte plaat 0,1d etc.).

4. Voorwaarden

Onder voorwaarden werden die onderdelen van een probleembeschrijving verstaan die de oplossing van een probleem mogelijk dan wel eenvoudiger maakten (voor studenten van dit niveau). Hieronder vielen bijvoorbeeld aanduidingen als 'in een cartesisch coördinatenstelsel' en 'de zelfinductie is te verwaarlozen'.

5. Uitwerking

Van een uitwerking was sprake wanneer de constructeur van het probleem de oplosser een handreiking naar de oplossing bood die niet echt noodzakelijk was. Als voorbeeld kan een onderdeel van probleembeschrijving C1 gegeven worden: 'het electron ondervindt een electrische kracht waardoor de snelheid verandert'. Dat laatste had de oplosser ook zelf kunnen bedenken. Ook wanneer reeds gegeven informatie nogeens op een andere manier gezegd wordt was er sprake van een uitwerking.

6. Vraagstelling

Het onderdeel 'vraagstelling' behoeft de minste toelichting. In dit onderdeel van de probleembeschrijving wordt vastgesteld wat beredeneerd of berekend moet worden.

Elke probleembeschrijving werd onderverdeeld in onderdelen die geordend werden naar bovenstaande categorieën. Componenten, relaties, specificaties en vraagstelling kwamen in elke probleembeschrijving voor, maar uitwerking en voorwaarden waren niet altijd aanwezig. De aantallen onderdelen verschilden uiteraard tussen problemen, er waren langere en kortere probleembeschrijvingen. Tabel 4.3 geeft een overzicht van het aantal onderdelen per beschrijving geordend naar categorieën.

Tabel 4.3

Aantallen onderdelen per probleembeschrijving geordend naar categorie

Probleem	Compon.	Relaties	Spec.	Voorwaarden	Uitwerking	Vraagst.
A1	7	4	6	0	1	2
A2	7	10	9	3	1	2
A3	4	6	9	1	0	3
A4	7	5	6	1	0	3
B1	4	3	3	2	3	3
B2	9	4	5	1	1	3
B3	5	4	5	0	0	2
B4	6	7	7	2	0	3
C1	4	2	3	1	3	3
C2	5	2	4	2	1	3
C3	7	8	5	1	0	2
C4	7	7	8	2	0	2
D1	12	8	11	1	5	4
D2	9	5	8	1	2	3

Voor elke probleembeschrijving werd nu een beoordelingsformulier gemaakt waarop deze onderdelen geordend naar categorie opgenomen waren. Elke door de studenten gegeven reconstructie kon met behulp van een beoordelingsformulier gewaardeerd worden. Op het beoordelingsformulier kon bij elk onderdeel aangegeven worden of het aanwezig was (+), afwezig was (0) of wel aanwezig was maar fout (-). Als een onderdeel niet geheel juist werd gereconstrueerd (bv 'geleider' in plaats van 'lange geleider') dan werd dit met een $\frac{1}{2}$ aangegeven. Daarnaast kon aangegeven worden of het onderdeel in figuur in de reconstructie was opgenomen (fig.), in symbool (symb.) of als synoniem van wat in de probleembeschrijving stond (syn.). Als een onderdeel in de reconstructie fout was opgenomen dan werd de aard van deze fout op het formulier aangetekend. Het formulier bevatte verder nog een ruimte voor algemene aantekeningen, hier konden eventueel opvallende kenmerken van de reconstructie genoteerd worden.

Het belangrijkste resultaat van deze beoordelingsprocedure was dus dat voor elke reconstructie van elke student aangegeven werd welk aantal onderdelen van elk soort onderdeel correct in de reconstructie was opgenomen (bijvoorbeeld: student x heeft bij probleembeschrijving A1 $\frac{3}{4}$ van de 7 componenten correct, bij de relaties 1 van de 4 enz.).

Betrouwbaarheid van de analyse

De beoordeling van de reconstructies vond plaats door twee personen gezamenlijk (de auteur en een vakinhoudelijk expert, de tweede onderzoeker). De werken van de studenten waren tevoren (door een derde) anoniem gemaakt en van een code voorzien zodat de beoordelaars tijdens de beoordeling van een reconstructie niet wisten of deze reconstructie van een goede of een zwakke student afkomstig was.

Ter bepaling van de betrouwbaarheid van deze beoordelingsprocedure werden 10 reconstructies een tweede keer beoordeeld door een derde persoon. Dit was een vergevorderde Natuurkunde student die eerst terdege was ingewerkt. Uit praktische overwegingen beoordeelde deze persoon de reconstructies alleen. Beoordeeld werden reconstructies van twee willekeurig uit de taken A (reconstructie in woorden) en B (reconstructie in figuur) gekozen probleembeschrijvingen. Uit elk van deze probleembeschrijvingen (A3 en B1) werden willekeurig 5 reconstructies gekozen. In totaal werden zo 205 onderdelen uit reconstructies twee keer beoordeeld. Tabel 4.4 geeft de resultaten van de betrouwbaarheidsbeoordeling. In de tabel is af te lezen met welke frequentie er gelijke of ongelijke beoordelingen werden toegekend aan hetzelfde onderdeel uit een reconstructie.

Tabel 4.4

Frequenties overeenstemming tussen de twee beoordelingen

TWEERDE BEOORDELING						
		-	0	$\frac{1}{2}$	+	tot.
EERSTE BEOOR- DELING	-	23	1	1	2	27
	0	4	75	1	2	82
	$\frac{1}{2}$	1	1	11	1	14
	+	3	5	2	72	82
tot.		31	82	15	77	205

Het percentage overeenstemming is 88% (kappa, Cohen (1960) is .83). Deze overeenstemming is bevredigend en rechtvaardigt het gebruik van de hier geschetste beoordelingsprocedure.

4.3 Resultaten

4.3.1 De aanwezigheid van probleemsituatieschemata

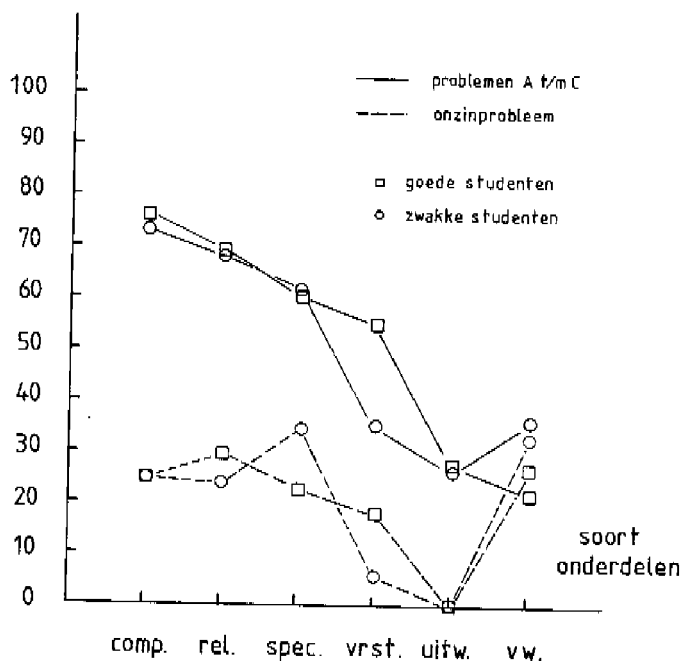
De eerste vraag in dit onderzoek luidde: 'Hebben beginnende studenten de beschikking over schemata van probleemsituaties en zijn hierin verschillen tussen goede en zwakke studenten?'

Schemata van probleemsituaties bevatten modellen van deze situaties en daarom alleen essentiële informatie en geen minder belangrijke informatie. In een probleembeschrijving wordt de essentiële informatie gevormd door de componenten, de relaties en de vraagstelling. Deze geven de constitutie van een probleemsituatie. Met deze informatie kan op een conceptueel nivo iets over de oplossing van het probleem gezegd worden. De vraagstelling kan er wellicht nog uit afgezonderd worden omdat in eenzelfde situatie (componenten en relaties) soms nog verschillende vraagstellingen mogelijk zijn. Specificaties, uitwerkingen en voorwaarden zijn uiteraard voor de feitelijke oplossing van een probleem onmisbaar, toch vormen zij niet de essentie van een probleem en derhalve zullen zij niet in een schema van probleemsituaties voorkomen.

Als studenten de beschikking hebben over schemata van probleemsituaties dan kan verwacht worden dat zij de essentiële onderdelen van de probleembeschrijvingen beter reconstrueren dan de niet essentiële onderdelen. Daarnaast zullen zij in dat geval op de zinnige problemen veel beter moeten presteren dan op het 'onzin'-probleem. Voor dit laatste kunnen zij immers geen situatieschema in hun geheugen hebben.

De resultaten van de beoordeling van de reconstructies zijn samengevat in Figuur 4.1 (blz. 151). In Figuur 4.1 is per categorie (soort) onderdeel het percentage correct in de reconstructies weergegeven onderdelen af te lezen (de score correct is een sommatie van het aantal volledig correct, score 1, en het aantal niet geheel juist, score $\frac{1}{2}$, zie ook paragraaf 4.2.4). Daarbij zijn de verschillende soorten onderdelen als volgt afgekort: Componenten (comp.), relaties (rel.), specificaties (spec.), vraagstelling (vrst.), uitwerking (uitw.) en voorwaarden (vw.). Dit is afzonderlijk gedaan voor een sommatie van de 12 problemen uit de taken A t/m C en voor het onzinprobleem (E1). Daarbij is een onderscheid gemaakt tussen de groep goede en de groep zwakke studenten. Opgemerkt moet worden dat één zwakke student bij taak A geen reconstructies had gegeven maar het probleem was gaan oplossen. Bij de daarop volgende taken gaf hij wel reconstructies. Deze student is bij analyses waar reconstructies van beschrijvingen uit taak A in voorkwamen verder niet meegeteld.

percentage correct



Figuur 4.1. Percentage correct gereconstrueerde onderdelen per soort onderdeel.

Taak D is niet opgenomen omdat deze achteraf niet zo'n gelukkige greep bleek. Bij taak D was opzettelijk overbodige informatie in de probleembeschrijvingen opgenomen. De verwachting was dat studenten die de beschikking hebben over schemata voor deze situaties (beschrijvingen) deze niet essentiële informatie niet in hun reconstructie op zouden nemen. De overbodige informatie was vaak opgenomen in de vorm van dubbele informatie (dat wil zeggen dat bepaalde informatie in de vraagstelling op twee verschillende manieren gezegd werd) en dit zette geen van de studenten er toe aan de overbodige informatie in hun reconstructie op te nemen. Van een verdere analyse van taak D werd daarom afgezien.

De resultaten zoals in Figuur 4.1 weergegeven wijzen uit dat componenten en relaties iets beter gereconstrueerd worden dan specificaties, en beter dan uitwerking en voorwaarden. Bovendien blijkt dat het onzinprobleem veel slechter gereconstrueerd

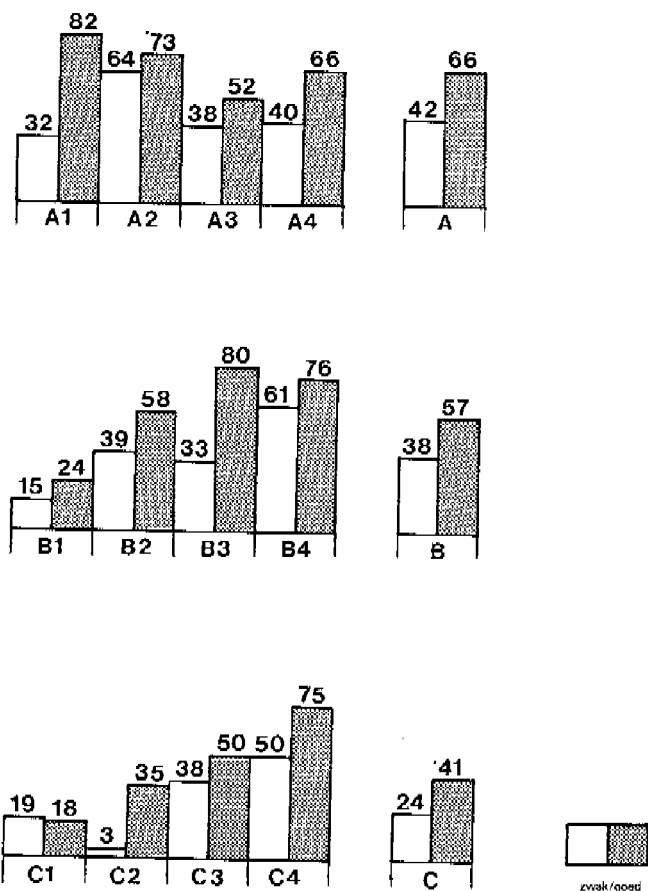
wordt dan de 12 andere, zinnige, problemen. Beide bevindingen ondersteunen de veronderstelling dat beginnende studenten de beschikking hebben over schemata van probleemsituaties.

Opmerkelijk is verder dat de vraagstelling slechter gereconstrueerd wordt dan de componenten, relaties en specificaties. Dit kan er een aanwijzing voor zijn dat de schemata van situaties zoals de studenten die bezitten niet altijd informatie over vraagstelling(en) bevatten. Het kan echter ook zo zijn de vraagstelling slechter gereconstrueerd wordt omdat deze veelal aan het eind van de probleembeschrijving staat en studenten er soms dus niet of gedeeltelijk aan toe gekomen zijn.

Het tweede deel van de eerste onderzoeksvraag betreft de verschillen tussen goede en zwakke studenten. Zoals uit Figuur 4.1 blijkt zijn deze verschillen er nauwelijks bij de componenten, de relaties, de specificaties en de uitwerking (verschillen zijn niet significant in deze gevallen). Goede en zwakke studenten verschillen dus in het algemeen niet in kennis van probleemsituaties.

Het verschil in score goed gereconstrueerde onderdelen (zie paragraaf 4.2.4 en eerder in deze paragraaf) tussen beide groepen op de voorwaarden is (gesommeerd over de taken A, B en C) significant (tweezijdige t-toets, $t = 2.29$, $p < .05$), in het voordeel van de zwakke studenten.

Naast dit verschil is er een opmerkelijk verschil tussen beide groepen wat betreft de reconstructie van de vraagstelling. De goede studenten presteren hierop veel beter dan de zwakke studenten ($t = -3.19$, $p < .01$). In Figuur 4.2 (blz. 153) wordt de sommatie uit Figuur 4.1 voor het onderdeel 'vraagstelling' nogeens uitgesplitst over alle 12 problemen uit de taken A, B en C en een sommatie binnen elk van die taken. Weergegeven wordt telkens het percentage juist gereconstrueerde onderdelen van de vraagstelling per probleembeschrijving, afzonderlijk voor de groep zwakke (tentamencijfer $x \leq 4$, zie paragraaf 4.2.2) en de groep goede studenten ($x \geq 8$). Er blijkt dan dat bij 11 van de 12 problemen de goede studenten de vraagstelling beter reconstrueren dan de zwakke studenten. Getoetst met een tweezijdige t-toets zijn de verschillen tussen de groep goede en de groep zwakke studenten significant op 1% bij de probleembeschrijvingen A1, B3, en C2. De verschillen over de gesommeerde reconstructies in de afzonderlijke taken zijn significant op 1% bij taak B en op 5% bij de taken A en C. Als schemata van situaties dus minder vaak informatie over de vraagstelling bevatten dan geldt dit in sterkere mate voor zwakke studenten.



Figuur 4.2. Percentage juist gereconstrueerde onderdelen bij de vraagstelling voor zwakke en goede studenten afzonderlijk bij elke probleembeschrijving (A1 t/m C4) en bij een sommatie per taak (A, B, en C).

In Tabel 4.5 (blz. 154) wordt gedetailleerder de relatie tussen prestaties van de studenten op het tentamen en hun reconstructie van de probleembeschrijvingen gegeven. In deze tabel is opgenomen de correlatie tussen de dichotomie goed/zwak en de score correct (score 1 + score $\frac{1}{2}$) in de reconstructie opgenomen onderdelen per soort onderdeel. Dit is gedaan voor elke probleembeschrijving afzonderlijk en voor een sommatie binnen de taken (At is een sommatie van de vier probleembeschrij-

vingen uit taak A etc.). Afgelezen kan worden dat er slechts zelden significante correlaties zijn behalve op de vraagstelling waar de goede studenten beter scoren dan de zwakke (een positieve correlatie wil zeggen dat de goede studenten hoger scoren, een negatieve geeft een voordeel voor de zwakke aan). De lege plekken in de tabel ontstaan omdat niet in elke probleembeschrijving voorwaarden en/of uitwerkingen waren opgenomen.

Tabel 4.5

Correlaties tussen goed/zwak en reproductiescore per probleembeschrijving en gesommeerd per taak (At, Bt en Ct), tussen haakjes de p-waarden

	COMP.	RBLATIES	SPECIFIC.	VOORW.	UITWERK.	VRAAGST.
A1	-.05 (.41)	.30 (.19)	.00 (.50)		-.54 (.01)**	.54 (.00)**
A2	.02 (.46)	.02 (.46)	.00 (.50)	-.14 (.27)	.29 (.19)	.10 (.32)
A3	.04 (.43)	.03 (.45)	.03 (.44)	-.28 (.11)		.27 (.11)
A4	.34 (.06)	.36 (.05)*	.10 (.32)	.00 (.50)		.40 (.03)*
At	.19 (.19)	.21 (.17)	.05 (.41)	-.20 (.18)	-.15 (.24)	.46 (.02)*
B1	.14 (.26)	.07 (.38)	-.02 (.46)	-.48 (.01)**	.05 (.42)	.19 (.19)
B2	.34 (.06)	.28 (.09)	-.12 (.29)	-.20 (.18)	.01 (.48)	.22 (.15)
B3	-.20 (.17)	-.34 (.06)	-.09 (.35)			.65 (.00)**
B4	-.17 (.22)	-.34 (.06)	-.25 (.12)	-.26 (.12)		.22 (.16)
Bt	.13 (.28)	-.12 (.29)	-.21 (.17)	-.51 (.01)**	.05 (.41)	.51 (.01)**
C1	-.03 (.45)	-.17 (.22)	.18 (.21)	-.03 (.45)	.05 (.41)	-.03 (.45)
C2	-.04 (.42)	.16 (.23)	.07 (.38)	-.23 (.14)	.22 (.15)	.58 (.00)**
C3	.10 (.33)	-.15 (.24)	-.28 (.10)	-.11 (.31)		.19 (.19)
C4	.15 (.25)	.13 (.27)	-.01 (.48)	-.11 (.31)		.35 (.05)*
Ct	.07 (.38)	.02 (.47)	-.04 (.48)	-.20 (.18)	.16 (.23)	.42 (.02)*
E1	.00 (.50)	.18 (.22)	-.26 (.11)	-.07 (.38)		.31 (.08)

* $p \leq .05$, ** $p \leq .01$

4.3.2 Koppeling van oplosinformatie aan situatieschemata

Leidt de activatie van probleemsituatieschemata tot de selectie uit het geheugen van de juiste oplosinformatie? was de tweede vraagstelling uit het onderzoek. Om dit na te gaan werd aan de deelnemers aan het onderzoek in taak C gevraagd om na elke reconstructie informatie (formules, concepten, procedures etc.) op te schrijven waarvan zij dachten dat die van belang was voor de oplossing van het zojuist gereconstrueerde probleem.

Ten behoeve van de beoordeling van deze opmerkingen van de studenten werd door een vakinhoudelijk deskundige (de tweede onderzoeker) een lijst opgesteld met van toepassing zijnde oplosinformatie per probleembeschrijving. Aan de hand van deze lijst werden de opmerkingen van de studenten beoordeeld door deze vakinhoudelijk deskundige. Zij was op het moment van de beoordeling niet op de hoogte van de groep (goed of zwak) waartoe de studenten behoorden. Er werd bij de beoordeling een onderscheid gemaakt tussen:

1. Van toepassing zijnde informatie. Dit is door de student gegeven informatie die betrekking had op de beschreven probleemsituatie inclusief de vraagstelling.
2. Neutrale informatie. Dat wil zeggen dat de gegeven informatie wel in de gereconstrueerde situaties gebruikt kan worden of van toepassing is maar dat het de oplossing niet dichterbij brengt.
3. Niet van toepassing zijnde informatie. Dit is informatie die volstrekt niet geldig is in de gegeven probleemsituatie.

De resultaten van deze analyse zijn weergegeven in Tabel 4.6 (zie volgende pagina). De aantallen in deze tabel slaan op het aantal gegeven opmerkingen in een van de drie bovengenoemde categorieën. Dit aantal is weergegeven voor elk van de vier probleembeschrijvingen uit taak C en voor een sommatie over deze vier probleembeschrijvingen (aangegeven met 'Tot.'). De studenten met een hoog tentamencijfer ($x \geq 8$) zijn aangegeven met een *. T^* is het totaal in een bepaalde categorie voor een probleembeschrijving of sommatie van probleembeschrijvingen voor de goede studenten, T is het totaal voor de zwakke studenten.

Duidelijk zal zijn dat goede studenten beter in staat zijn om aan een probleemsituatie de juiste kennis van de oplossing te koppelen, de correlatie tussen tentamencijfer (x) en de hoeveelheid door de studenten gegeven van toepassing zijnde informatie (VI) is $r_{(x,VI)} = .77$, ($p < .01$). Voor studenten met een hoog tentamencijfer zijn schemata van probleemsituaties dus gekoppeld aan omvangrijkere probleemschemata met daarin informatie over de oplossing.

Tabel 4.6

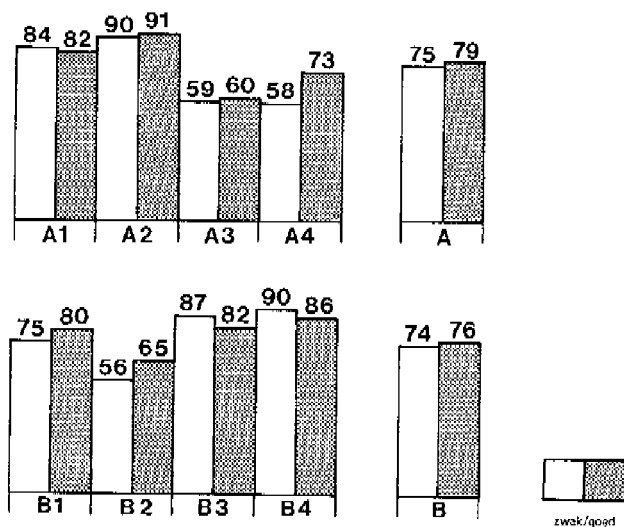
Aantal gegeven oplossinformaties per probleem uit taak C, per student in de categorieën: van toepassing, neutraal en niet van toepassing (* goede studenten)

STUD.	1*	2*	3*	4*	5	6	7*	8	9	10*	11	12*	13*	14	15	16*	17	18	19	20	21*	22*	23	T	T*	
Van Toepassing:																										
C1	2	2			2		2			1				1			1		2						6	7
C2		2					1		1			1				1									1	5
C3	4	2	3	3			3	1		4		3	4	1	1	5		3	1	1	2	1	2		10	34
C4		3		1		1	2			2		2	2	1						1	2				3	14
Tot.	6	9	3	4	2	1	8	1	1	7	0	6	6	3	1	6	1	3	3	2	4	1	2		20	60
Neutraal:																										
C1																					1				0	1
C2					1		1		1	2		1	1		1	1		1		1		1			5	7
C3						2		2	1	2				3			2								8	4
C4							1	2																	2	1
Tot.	0	0			1	2	2	4	2	4	0	1	1	3	1	1	2	1	0	1	1	1	1	0	15	13
Niet van Toepassing:																										
C1	1	4	3	3		3	1	3	5	2	3	1	4	2	1	2	1	4	1	3	5	2	2		28	28
C2		1	2	1				4		1	1	2	2			1		3			1				8	11
C3	1	2	1		3	2	1		2						2				3	1	2		2		15	7
C4	2			1	2		4	1	2	2	1			2	1			1	1				2		13	9
Tot.	4	7	6	5	5	5	6	8	9	5	5	3	6	4	4	3	1	8	5	4	8	2	6		64	55

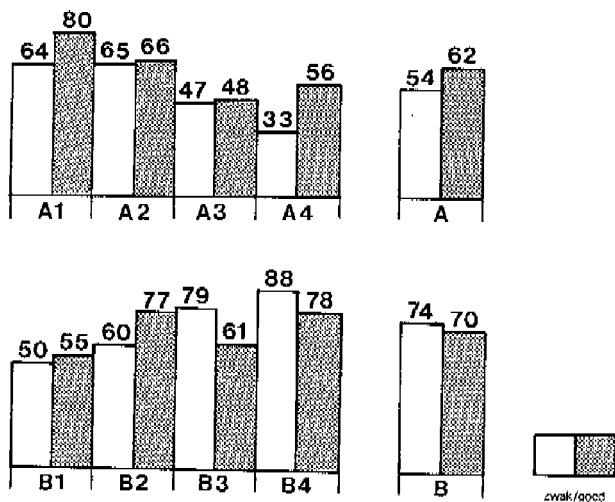
4.3.3 Vorm waarin schemata zijn opgeslagen

De derde vraagstelling van dit onderzoek betrof de vorm (figuraal of verbaal) waarin de schemata van situaties in het geheugen zijn opgeslagen. Een antwoord op deze vraag kon verkregen worden door vergelijking te maken tussen de reconstructies van probleembeschrijvingen die in verschillende vormen waren aangeboden en die in verschillende vormen gereconstrueerd moesten worden. Dit betrof dus de taken A en B. Bij A1 en A2 was de probleembeschrijving in woorden gegeven en moest de reconstructie ook in woorden gegeven worden, bij B3 en B4 waren zowel beschrijving als reconstructie in figuur. Bij A3 en A4 werd omgeschakeld van figuur naar woorden, en bij B1 en B2 precies andersom (zie par. 4.2.3, Tabel 4.1). Omdat niet alleen de vorm van de aanbieding en reconstructie varieerde maar ook de inhoud van de probleembeschrijvingen en er dus bij vergelijkingen tussen probleembeschrijvingen vakinhoudelijk verschillende problemen vergeleken worden, moeten conclusies in deze slechts als indicatief opgevat worden.

In de Figuren 4.3 en 4.4 worden de reconstructieprestaties van de twee groepen studenten op de componenten en de relaties uit de taken A en B weergegeven. Tel-



Figuur 4.3. Percentages correct weergegeven onderdelen op Componenten voor zwakke en goede studenten bij de probleembeschrijvingen uit de taken A en B en bij een sommatie per taak.



Figuur 4.4. Percentages correct weergegeven onderdelen op Relaties voor zwakke en goede studenten bij de probleembeschrijvingen uit de taken A en B en bij een sommatie per taak.

kens wordt in een histogram het percentage correct in de reconstructie weergegeven onderdelen afgebeeld.

In de eerste plaats blijkt dat er betere reconstructies gegeven worden wanneer de reconstructie in dezelfde modaliteit als de aanbieding plaats vindt (A1 en A2, aanbieding in woorden, reconstructie in woorden en B3 en B4, van figuur naar figuur) dan wanneer er overgeschakeld moet worden van figuur naar woord (A3 en A4) of andersom (B1 en B2). Dit geldt overigens vooral voor de relaties. Een verklaring hiervoor kan uiteraard zijn dat bij een overschakeling er geen directe herinnering (netvliesherinnering) kan plaatsvinden. Bovendien betekent een omschakeling een cognitieve activiteit extra, hierbij kan altijd iets fout gaan.

In de tweede plaats blijkt dat er verschillen zijn tussen zwakke en goede studenten. De Tabellen 4.7 en 4.8 illustreren dit. Tabel 4.7 geeft het gemiddelde percentage goed (scores 1-4) in de reconstructie opgenomen componenten voor een sommatie van de probleembeschrijvingen A1, A2, B3 en B4 (gelijke modaliteit) en A3, A4, B1, en B2 (ongelijke modaliteit). Dit is gedaan voor de groep zwakke en de groep goede studenten afzonderlijk. Tabel 4.8 geeft ditzelfde voor het onderdeel relaties.

Tabel 4.7

Gemiddeld percentage correcte reconstructie voor componenten

	Modaliteit		
	gelijk	ongelijk	verschil
Zwakke studenten	88%	62%	26%
Goede studenten	85%	70%	15%
verschil	- 3%	8%	

Tabel 4.8

Gemiddeld percentage correcte reconstructie voor relaties

	Modaliteit		
	gelijk	ongelijk	verschil
Zwakke studenten	74%	48%	26%
Goede studenten	71%	59%	12%
verschil	- 3%	11%	

Alhoewel er dus (zie par. 4.3.1) in algemene zin geen grote verschillen tussen goede en zwakke studenten in reconstructies te bespeuren waren bij de reconstructie van de componenten en relaties, zijn er wel verschillen tussen zwakke en goede studenten te constateren wanneer er op een gedifferentieerde manier naar de data gekeken wordt. Dan blijkt dat goede studenten beter presteren dan zwakke wanneer er overgeschakeld moet worden van de ene modaliteit naar de andere (dus de probleembeschrijving in woorden en de reconstructie in figuur (B1 en B2), of andersom (A3 en A4). Bij een overgang van woorden naar woorden zijn de prestaties van beide groepen gelijk maar bij een overgang van figuur naar figuur presteren de zwakke studenten beter dan de goede (op de componenten en relaties uiteraard).

De conclusie hieruit zou kunnen zijn dat goede studenten zowel conceptuele als figurale informatie in één schema hebben opgeslagen, terwijl zwakke studenten dit gescheiden hebben. Daarbij zijn de zwakke meer gericht op figurale informatie. Deze conclusie kan echter niet erg hard zijn, de bovengenoemde verschillen zijn namelijk zelden significant (slechts éénmaal en wel bij de relaties bij probleem A4, zie ook Tabel 4.4). Bovendien is het zo dat een vergelijking tussen prestaties op verschillende probleembeschrijvingen niet sterk is omdat ook de toevallige inhoud van de probleembeschrijving de prestatie bij het reconstrueren kan beïnvloeden.

4.4 Conclusies en discussie

4.4.1 Overeenkomsten tussen zwakke en goede studenten

De eerste conclusie uit dit onderzoek moet zijn dat zowel zwakke als goede studenten beschikken over kennis van probleemsituaties. Beide groepen construeerden de essentiële onderdelen uit de probleembeschrijvingen beter dan de niet essentiële onderdelen en een zinloze probleembeschrijving werd slechter gereconstrueerd dan zinvolle probleembeschrijvingen. Dat studenten deze kennis van probleemsituaties actief in de reconstructies gebruikt hebben blijkt ook uit de antwoorden op de in de vragenlijst gestelde vraag of zij weleens hun 'fantasie' gebruikt hadden bij het maken van de reconstructies en deze 'logisch hadden aangevuld'. Zeven van de 12 zwakke studenten beantwoordden deze vraag met ja en 5 met 'een enkele keer'. Van de goede studenten beaamen 7 van de 11 dat zij de reconstructies logisch vanuit hun kennis hadden aangevuld en 4 van deze goede studenten zeiden dat zij dat een enkele keer gedaan hebben.

Om een indruk te krijgen van het prestatienivo van de studenten in dit onderzoek kunnen hun percentages juiste reconstructies vergeleken worden met de prestaties van beginners en experts uit andere onderzoeken. Om een aantal redenen is hier slechts sprake van een indruk. De eerste reden is dat het nivo van de proefpersonen tussen die onderzoeken nogal varieert. In paragraaf 1.4.2 werd uiteengezet dat de beginner uit het ene onderzoek niet te vergelijken is met de beginner uit het andere onderzoek. Voor de hier aangehaalde onderzoeken gaat dat ook zeker op. In de tweede plaats is wat er herinnerd wordt uiteraard ook afhankelijk van de bestuderingstijd. In het onderhavige onderzoek werd die zo gekozen dat elke probleembeschrijving net één keer doorgenomen kon worden. In andere onderzoeken worden vaak exact ogende bestuderingstijden gehanteerd (bv. 12 seconden voor de bestudering van een Othello stelling in het onderzoek van Wolff et al., 1984), maar een verantwoording voor de keuze van die bestuderingstijden wordt niet gegeven. In een aantal onderzoeken konden de proefpersonen bovendien een aantal trials gebruiken en werd op elk trial de reconstructie vastgelegd (bijvoorbeeld Chase & Simon, 1973). Ook werd soms de bestuderingstijd gevarieerd. Tot slot werden niet in elk onderzoek de percentages correcte reconstructies vermeld. Sommige van de ondervermelde percentages zijn dan ook berekend uit andere wel in de artikelen vermelde gegevens. Omdat daarbij wel eens gegevens uit grafieken moesten worden afgeleid is er een aantal malen sprake van benaderingen in plaats van exacte percentages.

In het huidige onderzoek werd gesommeerd over de taken A, B, en C, door de zwak-

ke studenten, van de componenten 73% goed gereconstrueerd en van de relaties 69%. Bij de goede studenten lagen deze percentages op 76% en 70% respectievelijk. Bij het onzinprobleem werd door beide groepen van de componenten en de relaties rond de 25 % juist gereconstrueerd.

Deze resultaten lopen goed in de pas met resultaten uit andere onderzoeken. Dat de relaties iets slechter gereconstrueerd werden dan de componenten komt overeen met een onderzoek van Mayer (1982) die bij redactiesommen een dergelijk verschijnsel vond. Verder worden in andere onderzoek percentages gevonden die vergelijkbaar zijn met de percentages uit dit onderzoek, waarbij de prestaties van studenten uit dit onderzoek ongeveer liggen op het nivo van de experts uit andere onderzoeken. Daarbij is het wel zo dat wanneer de gehele reconstructies bekeken worden en niet alleen de componenten en de relaties het percentage door de studenten juist gereconstrueerde onderdelen zal dalen. Egan & Schwartz (1979) vonden bijvoorbeeld dat een expert (bij 10 seconden bestuderingstijd) 58% van aangeboden elektronische circuits juist reconstrueerde. Bij McKeithen et al. (1981) reconstrueerden experts (na 5 trials) 61% van een ALGOL-programma correct, tegen 45% voor de intermediates uit hun onderzoek. Van de random versie van het programma (vergelijkbaar met het onzinprobleem uit dit onderzoek) reconstrueerden de experts 25% correct en de intermediates 19%. Reitman (1976) vond vergelijkbare cijfers bij het spel Go. Bij zinvolle stellingen reconstrueerden experts 66% correct en bij random stellingen 30%. Bij het spel Othello vonden Wolff et al. (1984) voor experts respectievelijk 63% en 38%. Chiesi et al. (1979) vonden bij een baseball tekst dat 'high knowledge subjects' 80% van de aangeboden informatie onthielden en 'low knowledge subjects' tegen de 60%. Als de zinnen uit deze tekst in random volgorde werden aangeboden (scrambled version) dan daalden deze percentages tot 60% en 50% voor de respectievelijke groepen.

Deze vergelijking van onderzoeken bevestigt nog eens dat de studenten uit het onderhavige onderzoek waarschijnlijk de beschikking hadden over schemata van probleemsituaties.

4.4.2 Verschillen tussen zwakke en goede studenten

Naast de overeenkomst tussen zwakke en goede studenten in reconstructies konden ook verschillen geconstateerd worden. Gesommeerd over de taken A, B en C bleken zwakke studenten het onderdeel 'voorwaarden' beter te reconstrueren dan goede studenten. Voorwaarden zijn onderdelen van een probleembeschrijving die een probleem uittekenbaar maken. Deze onderdelen zijn zeer vaak voorkomende en vrij 'logische' onderdelen van een probleembeschrijving. Het is mogelijk dat goede studenten tijdens de bestudering van de probleembeschrijvingen hier minder aandacht

aan besteed hebben omdat 'dit altijd zo is'. Voor zwakke studenten is deze logica wellicht minder nadrukkelijk aanwezig.

Een tweede nog opmerkelijker verschil tussen zwakke en goede studenten betrof de reconstructie van de vraagstelling. Goede studenten bleken de vraagstelling uit de probleembeschrijvingen in het algemeen veel beter te reconstrueren dan zwakke studenten. Goede studenten lijken dus veel meer dan zwakke studenten informatie over (mogelijke) vraagstellingen in hun probleemsituatieschemata te hebben opgeslagen.

Een alternatieve verklaring voor dit resultaat kan echter zijn dat goede studenten of gewoon veel beter informatie opnemen en dan ook weer reproduceren en/of veel sneller lezen dan de zwakke en daarom in de krappe bestuderingstijd eerder aan de vraagstelling (die meestal het laatste deel van de probleembeschrijving vormt) toekomen.

Twee bevindingen maken deze alternatieve verklaring onwaarschijnlijk. Op de eerste plaats werd in de vragenlijst die na het experiment werd afgenomen aan de studenten de vraag gesteld of zij elk probleem een keer geheel door hadden kunnen nemen. Zeven van de 12 zwakke studenten beantwoordden deze vraag bevestigend evenals 6 van de 11 goede studenten. Uit de antwoorden bleek dat de studenten 'doornemen' soms opgevat hadden als uitvoerig bestuderen; aangenomen mag daarom worden dat bij de ontkenners ook personen zaten die de probleembeschrijving in de bestuderingstijd tenminste eenmaal doorgelezen hadden. Belangrijk is echter dat bij de beantwoording van deze vraag geen verschil tussen zwakke en goede studenten bestond.

Een tweede bevinding die bovengenoemde alternatieve verklaring onwaarschijnlijk maakt wordt gevormd door de resultaten van de herinneringstaak van de rijen termen. Na het onzinprobleem kregen de deelnemers aan het onderzoek 2 keer een rij van 20 termen uit het vakgebied Electromagnetisme aangeboden. Elke rij mochten zij 30 seconden bestuderen waarna zij zoveel mogelijk van de termen op moesten schrijven. Van de eerste rij termen wisten de zwakke studenten zich gemiddeld 9,25 termen juist te herinneren en de goede studenten 7,91. Bij de tweede rij termen waren deze aantallen 6,25 en 5,64 respectievelijk. Duidelijk is dus dat de zwakke studenten geen minder snelle lezers (en onthouders) dan goede studenten waren. Eerder bestaat hier zelfs een voordeel voor de zwakke studenten.

Een derde verschil tussen zwakke en goede studenten was, dat zwakke studenten veel minder dan goede studenten in staat bleken om informatie over de oplossing van gereconstrueerde probleembeschrijvingen te geven. Dit kan deels verklaard worden uit het feit dat de goede studenten de vraagstelling beter reconstrueerden. Een

verklaring voor beide feiten kan echter zijn dat goede studenten hun kennis van probleemsituaties meer gericht hebben op oplossingen. Opvallend is overigens wel dat er ook een vrij grote hoeveelheid niet van toepassing zijnde informatie genoemd wordt door goede studenten en dat zij hierin nauwelijks verschillen van zwakke studenten. De correlatie tussen tentamencijfer (x) en de hoeveelheid gegeven oplossingsinformatie die niet van toepassing is (NVT), $r_{(x,NVT)} = -.05$. Misschien is dit laatste wel een verklaring voor het in hoofdstuk 2 geconstateerde feit dat (wanneer studenten gebruik maken van een 'kick and rush' strategie) ook bij goede oplossingen eerst een foutieve weg ingeslagen wordt (zie ook hoofdstuk 5).

Een laatste, maar zeer voorzichtige (zie voor de restricties het einde van paragraaf 4.3.3), veronderstelling kan zijn dat goede studenten dezelfde informatie zowel in verbale als figurale vorm in één schema hebben opgeslagen. Voor zwakke studenten zou dan gelden dat er een scheiding tussen beide vormen aanwezig is. Een andere manier om dit te zeggen is dat goede studenten over 'conceptuele categorieën' (Egan & Schwartz, 1979, zie paragraaf 4.1.2) beschikken; bij de bestudering van een probleembeschrijving selecteren zij zo'n concept uit het geheugen en geven daar (al naar gevraagd) een reconstructie in woorden of figuur aan.

De moeilijkheden die zwakke studenten ondervinden als ze over moeten schakelen van modaliteit vinden niet hun oorsprong in moeilijkheden met één of beide presentatievormen op zich. Dit blijkt uit de prestatie van zwakke studenten als ze binnen één modaliteit kunnen blijven (de probleembeschrijvingen A1, A2, B3 en B4). Bij die probleembeschrijvingen scoren de zwakke studenten zelfs iets beter dan de goede. Misschien dat daarom geconcludeerd mag worden dat zwakke studenten een *oppervlakkige* kennis van probleemsituaties hebben en goede studenten een *diepe* kennis.

Larkin (1983) maakt in dat verband een interessant onderscheid. Volgens haar zijn er drie soorten interne representaties. Dit zijn:

1. Een naïeve representatie. Dit is "an internal representation of the problem that contains direct representations of the familiar, visible entities mentioned in the problem" (p.77).
2. Een natuurkundige representatie. Deze representatie is niet exact gelijk aan het gerepresenteerde probleem en "...involves entities (e.g. forces, momenta) that are not familiar but have meaning only in the context of formal physics" (p.77).
3. Een mathematische representatie. Deze representatie is een nog verdergaande formalisering van het gerepresenteerde probleem. De mathematische representatie bestaat uit: "a set of equations reflecting physical principles applied to the problem" (p. 77).

De prestaties bij de reconstructies van wisselende en gelijkblijvende modaliteit lijken verklaarbaar door te veronderstellen dat zwakke studenten een naïeve representatie hebben en dat de representatie van de goede studenten meer de kant van een natuurkundige representatie opgaan. Wel blijkt dus dat zwakke studenten geen moeite hebben met figurale voorstellingen op zich. Opmerkelijk in dit verband zijn de antwoorden op de in de vragenlijst opgenomen vraag of bij de bestudering van de probleembeschrijving een plaatje dan wel woorden in het geheugen gebruikt werden. Alle 12 zwakke studenten zeggen dat ze altijd een plaatje gebruikten en dit gold ook voor 7 van de 11 goede studenten. Eén goede student zei dat hij altijd woorden gebruikt had en 3 goede studenten gebruikten woorden wanneer de probleembeschrijving in woorden was gegeven en een plaatje wanneer die in figuur gegeven was. Overigens wordt het belang van figurale voorstellingen benadrukt door het feit dat alle studenten (zowel zwakke als goede) aangeven dat zij normaal gesproken wanneer zij natuurkundige problemen oplossen (bijna) altijd een figurale voorstelling van het probleem maken.

4.5 Slotconclusie

Als algemene conclusie kan gelden dat zwakke en goede studenten in even grote mate beschikken over kennis van probleemsituaties op zich. Wel zijn er aanwijzingen gevonden dat goede studenten meer dan de zwakke die kennis verbonden hebben met voor de oplossing noodzakelijke declaratieve en procedurele kennis. Verder werd Greeno (1980) aangehaald die pleitte voor meer aandacht in het onderwijs voor herkenning van probleemsituaties, de conditiekant van het probleemoplossen. De resultaten van dit onderzoek bevatten aanwijzingen dat studenten niet in de eerste plaats baat zullen hebben bij een verbeterde kennis van probleemsituaties, maar dat zij (en dan vooral de zwakke studenten) baat zullen hebben bij het leren toepasbaar maken van oplossingsinformatie op deze situaties.

Appendix bij hoofdstuk 4

Door een afwijking van het formaat van deze Appendix kan het aantal regels dat een probleembeschrijving telt verschillend zijn van het aantal regels van de probleembeschrijving tijdens het experiment. Dit kan van belang zijn voor de reconstructietijden (zie blz. 144 en 145).

Probleembeschrijving A1

Een torus van ferromagnetisch materiaal heeft een hartlijn met straal R . De doorsnede van het materiaal is cirkelvormig en heeft een straal r . In het materiaal is een spleet gezaagd van breedte d . Om de torus is een spoel gewikkeld van in totaal N windingen, waardoor een constante gelijkstroom loopt.

De magnetische veldsterkte in het materiaal bedraagt H_m , en de magnetische inductie in de lichtspleet is B_s .

Hoe groot is de stroom door de spoel?

Componenten

torus
ferromagnetisch mat.
spleet
spoel
constante stroom
magnetische veldsterkte
magnetische inductie

Relaties

spoel om de torus
stroom door de spoel
 H_m in materiaal
 B_s in spleet

Specificaties

hartlijn straal R
doorsnede cirkel r
breedte spleet d
 N windingen
 H_m
 B_s

Voorwaarden

Uitwerking
gelijk(stroom)

Vraagstelling
stroom
in de spoel

Probleembeschrijving A2

Twee bollen A en B, met straal a , bevinden zich met hun middelpunten op de plaatsen $(0,0,R)$ resp. $(0,0,-R)$ van een rechthoekig coördinatenstelsel in vacuüm. Op B bevindt zich een positieve lading Q en op A een lading $-Q$. $a \ll R$. De bollen zijn verbonden door een geleidende draad samenvallend met de z -as, waarin een schakelaar S is opgenomen. Op het tijdstip $t=0$ wordt de schakelaar gesloten, zodat op dat moment een begin gemaakt wordt met het ontladen van de bollen. Voor $t > 0$ meet men in een punt $P(0, R\sqrt{3}, 0)$ een magnetische veldsterkte, die exponentieel afneemt met de tijd volgens

$$\vec{H}_P = |\vec{H}_{P0}| e^{-t/\tau} (-\vec{e}_x)$$

Bereken de stroom door de verbindingsdraad

Componenten

twee bollen
pos. en neg. lading
geleidende bollen
schakelaar
sluiten van de schak.
magnetische veldst.
punt P

Relaties

bollen sym tov. O
bollen op z -as
+lading op ene bol, - op andere bol
draad op z -as
schakelaar in draad
 $t=0$ sluiten
veldsterkte in P
P op y -as
 H_P voor $t > 0$
 $H_P \approx e^{-t/\tau}$

Specificaties

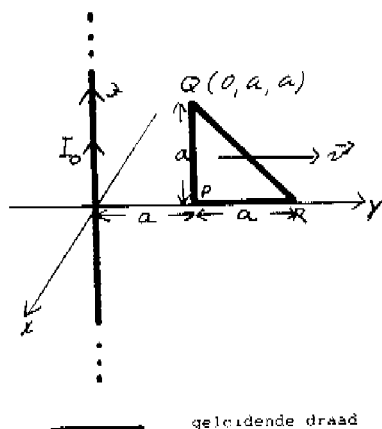
A en B
straal a
coördinaten A $(0,0,R)$
coördinaten B $(0,0,-R)$
+Q, -Q
 S
 P
 $P(0, R\sqrt{3}, 0)$
 $\vec{H}_P = |\vec{H}_{P0}| e^{-t/\tau} (-\vec{e}_x)$

Voorwaarden
 rechthoekig coörd.
 $a \ll R$
 vacuüm

Uitwerking
 begin van ontladen

Vraagstelling
 stroom
 verbindingsdraad

Probleembeschrijving A3



welke inductiespanningen worden in de drie zijden van PQR opgewekt op het moment dat deze de in de figuur aangegeven positie passeert?

Componenten
 lange geleider
 stroom
 tweede geslot. geleider
 tweede geleider beweegt

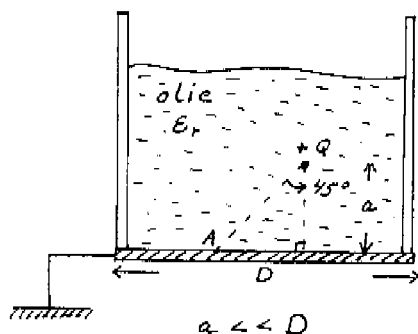
Relaties
 op de z-as
 stroom in lange geleider
 stroom in pos. z-richt.
 2e geleider in yz-vlak
 $\vec{v} \parallel y$ -as
 oriëntatie coor.stelsel

Specificaties
 I_0
 PQR
 gelijkbenig
 rechthoekig
 $Q(0, a, a)$
 snelheid v
 afstand z-as
 $QP = a$
 $PR = a$

Voorwaarden
 Cartesisch c. stelsel

Uitwerking

Vraagstelling
 Inductiespanningen
 In de zijden PQR
 op dat moment

Probleembeschrijving A4

isolerend materiaal

geleidend materiaal

Bereken de oppervlakteladingsdichtheden van de vrije lading en van polarisatielading bij A.

Componenten

bak
olie
geleidend onderdeel
isolierend onderdeel
aardverbinding
pos. puntlading
punt

Relaties

bodem geleidend
wanden isolierend
bodem op aarde
 Q in olie
 A op de bodem

Specificaties

ϵ_r
 Q
hoogte van Q is a
hoek is 45°
breedte bodem = D
 A

Voorwaarden

$a \ll D$

UitwerkingVraagstelling

Opp.lad.dicht. σ_{vrij}
Opp.lad.dicht. $\sigma_{\text{pol.}}$
bij A

Probleembeschrijving B1

Een lange cilindrische staaf met lengte L en straal R ($L \gg R$) is permanent gemagnetiseerd in de lengterichting. In een punt op afstand r van de as is de magnetisatie gelijk aan

$$\vec{M} = (M_0 - \beta r^2) \vec{e}_z,$$

waar M_0 en β constanten zijn en $\vec{e}_z$ de eenheidsvector in de as -richting is. Bereken de ϕ -component van de magnetisatiestroomdichtheid in dit punt.

Componenten

lange staaf
cilindrisch
permanent gemagnetiseerd
punt

Relaties

punt op afstand r van as
 $\vec{M} // \vec{e}_z$
 $|\vec{M}| = M(r)$

Specificaties

straal R
lengte L
 $\vec{M} = (M_0 - \beta r^2) \vec{e}_z$

Voorwaarden $M_0 = \text{constant}$ $\beta = \text{constant}$ Uitwerking $L \gg R$ $\vec{M}$ in lengterichting $\vec{e}_z \parallel \text{asrichting}$ Vraagstelling ϕ component

magnetisatiestr.dichth.

in dit punt

Probleembeschrijving B2

Een platte, cirkelvormige spoel met straal a en n windingen roteert met constante hoeksnelheid ω om een middellijn. De einden van de spoel zijn met elkaar verbonden; de totale weerstand is R . Er is een homogeen magnetisch veld met inductie $\vec{B}$ loodrecht op de rotatieas. De zelfinductie wordt verwaarloosd.

In het midden van de spoel is een kleine magneetnaald geplaatst, die beweegt in een vlak loodrecht op de rotatieas. De beweging van de naald is gedempt, zodat deze de stand aanneemt, die overeenkomt met de gemiddelde waarde van het magnetisch veld.

Bereken de hoek, die de naald maakt met de richting van $\vec{B}$.

Componenten

cirkelvormige spoel

plat

roteert

const. hoeksnelheid

spoel kortgesloten

totale weerstand

homogeen magnetisch veld

kleine magneetnaald

beweging naald gedempt

Relaties

om een middellijn

 $\vec{B}$ loodrecht op rot. as

in midden van de spoel

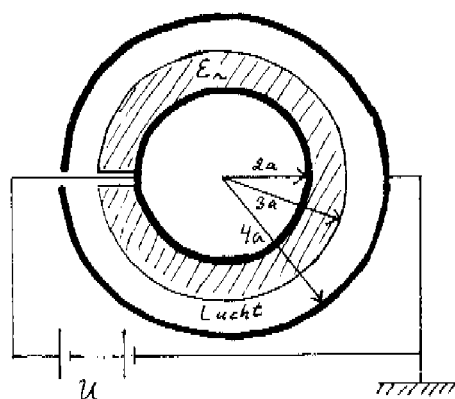
in vlak $\perp$ rot. asSpecificatiesstraal a n windingenhoeksnelheid ω weerstand spoel R $\vec{B}$ Voorwaarden

zelfinductie verwaarlozen

Uitwerkingmagneetnaald $\parallel \vec{B}_{\text{gem.}}$ Vraagstelling

hoek

naald

richting $\vec{B}$ Probleembeschrijving B3

Waar heeft de elektrische veldsterkte zijn grootste waarde, en hoe groot is deze waarde?

— geleideroppervlak

Componenten

bol/cilinder condensator
diëlectricum
aardverbinding
spanningsbron
lucht

Relaties

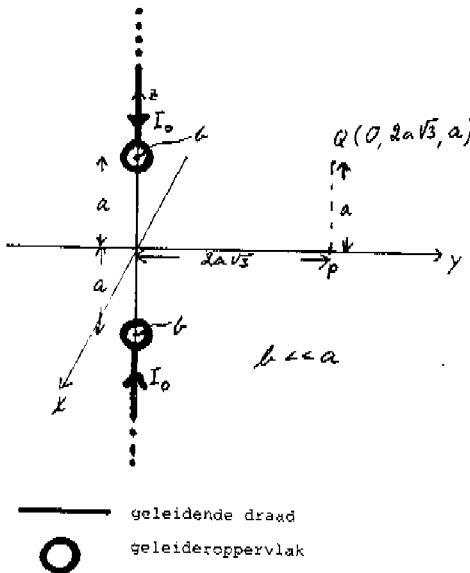
diëlec. om binn. gel.
buit. gel. geaard
bin. gel. op span. bron
lucht tussen 3a en 4a

Specificaties

straal binn. gel. 2a
straal buit. gel. 4a
straal diëlectricum 3a
 ϵ_r
pos. potentiaal = U

VoorwaardenUitwerkingVraagstelling

waar heeft E zijn max.
hoe groot is E max.

Probleembeschrijving B4

Bereken de magneti-
sche inductie in P en
Q

Componenten

twee bollen
geleidend zijn
stroomdraden
constante stromen
punt (op y-as)
punt (in yz-vlak)

Relaties

bollen op z-as
symmetrisch tov. O
draden langs z-as
stromen identiek
P op y-as
Q recht boven P
stromen naar bollen

Specificaties

z-coörd. bol. a en -a
straal bollen b
 I_0
P op afst. $2a\sqrt{3}$ van O
Q (0, $2a\sqrt{3}$, a)
P
Q

Voorwaarden

rechthoekig coördin.
 $b \ll a$

UitwerkingVraagstelling

magnetische inductie
in P
in Q

Probleembeschrijving C1

Een waterstofatoom wordt voorgesteld door het volgende model: een electron met massa m en lading $-e$ beweegt in een cirkelvormige baan met straal r om een oneindig zware kern met lading $+e$.

Op zeker ogenblik wordt een homogeen magneetveld loodrecht op het vlak van de baan aangebracht; na een tijd Δt is dit veld constant en heeft de inductie de waarde B_0 . Het electron ondervindt hierdoor een elektrische kracht, waardoor zijn snelheid verandert. Daarentegen wordt aangenomen dat B_0 zo klein is dat de straal van de baan niet verandert.

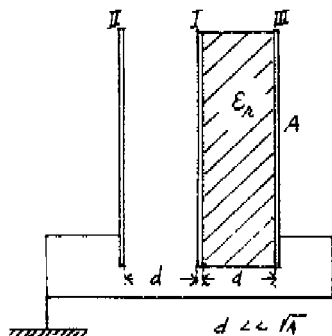
Bereken de verandering van het magnetisch moment van het electron als gevolg van het aanbrengen van het veld B_0 .

<u>Componenten</u>	<u>Relaties</u>	<u>Specificaties</u>
Bohr model van H-atoom	I op het vlak van baan	$m, r, +e, -e$
homogeen magneetveld	na Δt	B_0
aanbrengen		Δt
constant veld		
<u>Voorwaarden</u>	<u>Uitwerking</u>	<u>Vraagstelling</u>
B_0 zo klein, r verandert niet	waterstofatoom	verand. magn. moment
	el. ondervindt el. kr.	van het electron
	snelheid verandert	na aanbrengen B_0

Probleembeschrijving C2

Door een lange ijzeren staaf met lengte l en straal R ($l \gg R$) loopt een vrije, niet homogene stroom in de z -richting. Deze richting wordt gekozen als z -richting in een stelsel van cilindercoördinaten. Ten gevolge van de vrije stroom is de staaf gemagnetiseerd in de ϕ -richting. De grootte van de magnetische veldsterkte in het ijzer is overal constant, H_0 . De relatieve permeabiliteit van ijzer is μ_r . Hoe groot is de z -component van de magnetisatie-ruimtestroomdichtheid J_z op een afstand r van de z -as?

<u>Componenten</u>	<u>Relaties</u>	<u>Specificaties</u>
lange staaf	stroom in z -richting	lengte l
ijzer	$\vec{e}_z \parallel$ z -as van staaf	straal R
vrije stroom		H_0
niet homogeen		μ_r
const. magn. veldsterkte		
<u>Voorwaarden</u>	<u>Uitwerking</u>	<u>Vraagstelling</u>
cilindercoördinaten	staaf gemag. in ϕ -richt	magn.- r . str. dichth.
$l \gg R$		z -component
		op r van de z -as

Probleembeschrijving C3

Een grote metalen plaat, I, bevindt zich halverwege twee andere metalen platen, II en III, met hetzelfde oppervlak A . De drie platen zijn evenwijdig; hun afstand d . Plaat II en III zijn geaard. I daarentegen is geïsoleerd opgesteld en heeft een lading $+Q$. De ruimte tussen I en III is opgevuld met een dielectricum met dielectrische constante ϵ_r . De ruimte tussen I en II bevat lucht.

Bereken de de totale polarisatielading op het begrenzingsoppervlak van het dielectricum bij plaat III.

Componenten

drie grote platen
metaal
aardverbinding
geïsoleerde opstelling
positieve lading
dielectricum
lucht

Relaties

platen evenwijdig
platen gelijke afstand
buitenste pl. op aarde
binnenste plaat geïsol.
lading op binn. plaat
diëlect. tussen I en III
lucht tussen I en II
platen even groot

Specificaties

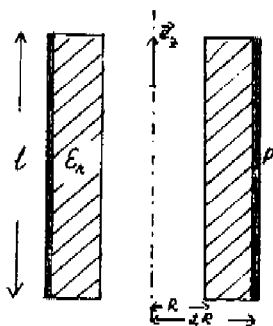
afstand d
I, II, III
 $+Q$
 ϵ_r
 A

Voorwaarden

$d \ll \sqrt{A}$

UitwerkingVraagstelling

tot. pol. lading
begr.vlak diëlect.bij III

Probleembeschrijving C4

Een holle cilinder met lengte l , inwendige straal R en uitwendige straal $2R$ is geplaatst met zijn as in de z -richting. De cilinder bestaat uit dielectrisch materiaal met dielectrische constante ϵ_r ; hij is aan de buitenzijde bekleed met een laagje ter dikte d van een magnetisch materiaal met relatieve permeabiliteit μ_r . $d \ll R \ll l$. Er is een homogeen electrisch veld aanwezig, dat gericht is langs de positieve z -as, en waarvan de grootte gelijk is aan $k \cdot t$. Bereken de magnetische inductie in een punt P , gelegen midden in het magnetisch materiaal.

<u>Componenten</u>	<u>Relaties</u>	<u>Specificaties</u>
holle cilinder	as in de z-richting	inwendige straal R
diëlectrisch materiaal	cilinder van diël. mat.	uitwendige straal 2R
laag	laag van magnet. mat.	lengte l
magnetisch materiaal	laag aan buitenz. cil.	ϵ_r
homogeen electrisch veld	$\vec{E}$ langs $\vec{e}_z$	dikte d
tijdafhankelijkheid	$E \approx t$	μ_r
punt	punt middenin mag. mat.	$E = k \cdot t$
		P

<u>Voorwaarden</u>	<u>Uitwerking</u>	<u>Vraagstelling</u>
$R \ll l$		magnetische inductie
$d \ll R$ (laagje)		in P

Probleembeschrijving D1

Een plaatcondensator bestaat uit twee evenwijdige, cirkelvormige platen met straal 2R en onderlinge afstand d. ($d \ll R$). De dikte van de platen is 0,1d.

Tussen de platen bevindt zich een ring met inwendige straal R, uitwendige straal 2R en dikte d, gemaakt van een materiaal met diëlectrische constante (ook wel relatieve permittiviteit genoemd) ϵ_{r1} , relatieve permeabiliteit μ_{r1} , en soortelijke massa ρ_1 . De overblijvende ruimte binnen de condensator, dwz. een cirkelvormige schijf met straal R en dikte d, is gevuld met een materiaal met de eigenschappen ϵ_{r2} , μ_{r2} , en ρ_2 .

Bij $t = 0$ wordt een schakelaar gesloten, waardoor de condensator wordt aangesloten op een spanningsbron met een klemspanning die lineair met de tijd toeneemt: $u(t) = \alpha \cdot t$. De onderste plaat wordt hierbij aangesloten op de positieve pool en de bovenste plaat op de negatieve pool.

Bereken de grootte en richting van de magnetisatie M in een punt op afstand $3R/2$ van de as en $d/3$ boven de onderste plaat.

<u>Componenten</u>	<u>Relaties</u>	<u>Specificaties</u>
plaatcondensator	tussen de platen	straal 2R
cirkelvormig	ϵ_{r1} in ring	afstand d
dikte platen	ϵ_{r2} in rest ruimte	dikte platen 0,1d
ring	sluiten bij $t = 0$	stralen ring R, 2R
diël. mat. 1	condensator op span.bron	ϵ_{r1}
diël. mat. 2	ond. plaat +, bov. pl.-	ϵ_{r2}
schakelaar	$U = U(t)$	μ_{r1}
sluiten schakelaar	dikte ring d	μ_{r2}
spanningsbron		ρ_1
magn. materiaal 1		ρ_2
magn. materiaal 2		$U(t) = \alpha t$
soortelijke massa's		

<u>Voorwaarden</u>	<u>Uitwerking</u>	<u>Vraagstelling</u>
$d \ll R$	platen evenwijdig	grootte van M
	rel. permittiviteit	richting van M
	schijf straal R dikte d	op afstand $3R/2$ van as
	schijf cirkelvormig	op hgte $d/3$ v. o. pl.
	U neemt lineair met t toe	

Probleembeschrijving p2

Van het magnetisch zachte materiaal ferroxcube, dat een lage soortelijke weerstand ρ heeft een een hoge permeabiliteit μ_r , maakt men een serie ringetjes met inwendige straal a , uitwendige straal $3a$ en dikte a . In ieder ringetje wordt een smalle spleet met breedte d gezaagd ($d \ll a$). De ringen worden op een een zeer lange, rechte stroomdraad met straal r_0 ($r_0 < a$) "geregen" op zo'n manier dat hun assen allen samenvallen met die van de draad, en dat er tussen de ringen telkens een afstand $10a$ is. De spleten zijn gelijkmatig over alle richtingen verdeeld. Door de stroomdraad loopt een constante stroom I_0 , gelijkmatig verdeeld over de doorsnede van de draad.

Bereken de magnetische veldsterkte in de spleten van de ringen, op een afstand $2a$ van de as.

Componenten

ringetje
magnetisch materiaal
zacht ferroxcube
lage soort. weerstand
spleet
serie (ringetjes)
lange rechte stroomdraad
constante stroom
hoge μ_r

Relaties

spleet in elk ringetje
geregen
onderlinge afstand gelijk
spleten over alle richt.
stroom gelijkm. over
doorsnede draad

Specificaties

ρ
 μ_r
inw. str. a ; uitw. $3a$
dikte a
breedte d
straal stroomdraad r
afstand $10a$
 I_0

Voorwaarden

$d \ll a$

Uitwerking

$r_0 \ll a$
assen // draad

Vraagstelling

magn.veldsterkte
in spleet
op afstand $2a$ van as

Probleembeschrijving E

Men windt een cilinder met lengte l zeer regelmatig over een geïdealiseerd model van een electromagneet. Deze heeft een dikte van 1m , een magnetische inductie van 10^{-5} en verwaarloosbare uiteinden. De platen worden aangesloten op een diëlectrisch materiaal waardoor een polarisatielading ontstaat.

Men plaatst nu een grote dunne plaat in de electromagneet zodat deze geheel gevuld is. De plaat is diamagnetisch en heeft een relatief grote magnetische inductie, die in de orde van grootte van 6.9 is. Maak een schatting van de verandering van de totale magnetische susceptibiliteit, inclusief richting.

Componenten

cilinder
model van electromagneet
magnetische inductie
polarisatielading
grote dunne plaat
diamagnetisch
grote magnet. inductie

Relaties

platen aangesl. op diel.
pol. lad. door aansluiten
plaat in el. mag.
geheel gevuld
over model gewonden
zeer regelmatig

Specificaties

dikte 1m
magn. ind. (el. magn.) 10^{-5}
magn. ind. (plaat) 6.9
lengte l

<u>Voorwaarden</u>	<u>Uitwerking</u>	<u>Vraagstelling</u>
verwaarl. uiteinden	er ontstaat pol. lading	verandering tot. magn. suscept. schatting richting

NB. Bovenstaande indeling in onderdelen van het laatste probleem is uiteraard meer op taalkundige dan natuurkundige overwegingen gebaseerd.

Rijen termen

1e rij termen

magnetische inductie
Lorentzkracht
Tesla
kracht op puntlading
Halleffect
driftsnelheid
stroomdichtheid
stroomdraad
kracht op geleider
rechthoekige winding
magnetisch moment
koppel
rechterhandregel
vlak van de winding
draaibaar spoeltje
galvanometer
impulsmoment
spin
gyromagnetische verhouding
precessie

2e rij termen

wederkerige inductie
electriche susceptibiliteit
geleideroppervlak
magnetisatie
energiedichtheid
equipotentiaalvlak
fluxverandering
geïnduceerde lading
spanningsverschil
kringintegraal
aardverbinding
superpositie
ferromagnetisme
puntlading
gesloten oppervlak
diëlectrische constante
ruimteladingsdichtheid
magnetische veldsterkte
cilindercondensator
Coulomb

5 Algemene discussie

Dit laatste hoofdstuk begint met een nabeschuiving van de theorie en de drie experimenten uit dit proefschrift. Vervolgens wordt getracht de resultaten van de experimenten te integreren. Tot slot wordt kort de draagwijdte van dit proefschrift besproken en wordt ingegaan op de mogelijke relevantie van het onderzoek voor de onderwijspraktijk.

5.1 Samenvatting van de theorie en onderzoeksresultaten

Hoofddoel van dit proefschrift was om door middel van een theoretische analyse en een aantal experimenten meer inzicht te verkrijgen in de wijze waarop de kennis van een probleemoplosser is samengesteld en georganiseerd. Daarbij werd vooral gezocht naar kenmerken van kennis die samenhangen met succesvol probleemoplossen. In het proefschrift werd een inperking gemaakt tot een bepaald soort problemen (tentamenachtige problemen op het vakgebied Electriciteit & Magnetisme op het nivo van eerstejaars TH studenten) en tot een bepaald soort probleemoplossers (namelijk die personen van wie gebruikelijk gevraagd wordt dat soort problemen op te lossen, i.e. beginnende TH studenten).

Verondersteld werd dat het kennisrepertoire van een oplosser is opgebouwd uit vier soorten kennis. Dit zijn:

- kennis van probleemsituaties
- declaratieve kennis
- procedurele kennis
- strategische kennis.

Kennis van probleemsituaties betreft kennis van probleembeschrijvingen zoals die normaal gesproken in een vakgebied voorkomen. Met behulp van deze kennis herkent de oplosser probleembeschrijvingen en kan hij ze interpreteren en classificeren. *Declaratieve kennis* is kennis van wetten, formules, principes enzovoort. Deze kennis kan als de 'theorie' van het vakgebied worden omschreven. Alleen kennis van probleemsituaties en declaratieve kennis is niet voldoende om een probleem op te lossen. De oplosser moet ook nog beschikken over *procedurele kennis*, dwz. kennis van allerlei acties die in een bepaald vakgebied zijn toegestaan. Met deze acties kan hij de in de probleemsituatie gegeven informatie, samen met de declaratieve kennis

gaan manipuleren om zo tot de oplossing te geraken. Tot slot is het nuttig als de oplosser beschikt over *strategische kennis*. Deze strategische kennis geeft aan hoe het oplosproces moet verlopen. Het zegt de oplosser in algemene termen welke volgorde van stappen voor hem nuttig zijn. Deze laatste vorm van kennis is minder specifiek dan de eerste drie soorten kennis. Dat wil zeggen dat deze drie soorten kennis slechts geldigheid hebben bij een beperkt aantal probleemsituaties en strategische kennis geldig is over verschillende situaties heen maar wel tussen vakgebieden of grotere eenheden binnen een vakgebied kan verschillen.

Naast de *aanwezigheid* van deze soorten kennis in het geheugen van de student lijkt ook de *organisatie* hiervan van cruciaal belang voor het slagen van het oplosproces. Geconfronteerd met een specifieke probleembeschrijving moet een oplosser via zijn kennis van probleemsituaties de juiste declaratieve en procedurele kennis uit zijn geheugen selecteren (strategische kennis is geldig voor verschillende soorten problemen binnen een vakgebied en wordt dus niet in eerste instantie via de kennis van specifieke probleemsituaties geselecteerd). Deze selectie wordt vergemakkelijkt door een organisatie van kennis in het geheugen waarbij de juiste declaratieve en procedurele kennis bij de juiste kennis van probleemsituaties is opgeslagen. Zo'n wijze van kennisorganisatie wordt een organisatie volgens *probleemschemata* genoemd. Een probleemschema is een afgeperkte hoeveelheid informatie in het geheugen die betrekking heeft op één type van problemen en die in principe toereikend is om problemen van dat type op te lossen. Een adequaat probleemschema bevat dus kennis van probleemsituaties, declaratieve kennis en procedurele kennis.

In drie experimenten werden verschillen aspecten van de kennisinhoud en de kennisorganisatie van beginnende studenten onderzocht en werd de samenhang tussen deze aspecten en het slagen van het oplosproces bepaald.

In het eerste experiment (hoofdstuk 2) werd nagegaan of de prestaties van studenten bij het oplossen van problemen verhoogd konden worden door hun strategische kennis te verbeteren. Een aantal studenten ontving daartoe naast het reguliere onderwijs een extra instructie in een *experimentele strategie*. Deze experimentele strategie bestond hieruit dat het oplosproces wordt uitgevoerd in de opeenvolgende fasen: analyse, opstellen van kernbetrekkingen, maken van een oplossingsroute, uitwerking en ten slotte controle. De resultaten van dit onderzoek waren teleurstellend. Studenten die naast het gewone onderwijs de extra instructie ontvingen in het toepassen van de experimentele strategie, gingen na deze instructie niet in sterkere mate volgens deze strategie werken dan voor de extra instructie. Bovendien volgden zij bij het oplossen van problemen dezelfde strategie als studenten uit een controlegroep

die geen extra instructie hadden ontvangen. Deze strategie die door beide groepen studenten gehanteerd werd, werd omschreven als de 'kick and rush' strategie. Dit houdt in dat studenten na een (te) korte analyse snel in de oplossing duiken. Zij moeten dan ook vaak weer terugkeren naar de analyse om hun aanvankelijke foute oplossing te herstellen.

Opmerkelijk was ook dat deze 'kick and rush' strategie werd gehanteerd bij zowel goede als foute oplossingen. Klaarblijkelijk kon dus met de door de studenten van nature gehanteerde, theoretisch gezien niet zo fraaie, strategie ook een juiste oplossing bereikt worden. In een volgend experiment werd daarom ingegaan op de drie meer vakspecifieke componenten uit het kennisrepertoire.

In hoofdstuk 3 werd een onderzoek beschreven naar de organisatie van kennis van probleemsituaties, declaratieve kennis en procedurele kennis in het geheugen van studenten. Nagegaan werd of de mate waarin studenten deze drie soorten kennis hebben georganiseerd volgens probleemschemata samenhangt met hun prestaties op tentamens.

Om dit te onderzoeken werd de vakinhoud van het eerstejaars vak E&M onderverdeeld in 12 probleemtypen (elk probleemtype kon gekarakteriseerd worden door een natuurkundig principe). Bij elk probleemtype werden stukjes kennis opgesteld (kenniselementen). Er werd voor gezorgd dat elk probleemtype bestond uit minstens één kenmerk van een probleemsituatie, één stukje declaratieve kennis en één procedure. In totaal werden bij de 12 probleemtypen 65 kenniselementen opgesteld. Deze 65 kenniselementen werden op kaartjes getikt en studenten werd gevraagd om deze kenniselementen in stapeltjes te sorteren op een zodanige manier dat kaartjes in één stapeltje meer met elkaar te maken hadden dan kaartjes uit verschillende stapeltjes.

Op grond van deze sorteringen kon voor elke student bepaald worden in hoeverre zijn kennis georganiseerd was volgens probleemschemata. Er bleek een vrij sterke correlatie tussen de maat voor het georganiseerd zijn van de kennis volgens probleemschemata en de tentamencijfers van deze studenten voor het vak E&M. Studenten met een hoog tentamencijfer bleken hun kennis meer volgens probleemschemata georganiseerd te hebben dan studenten met een laag tentamencijfer. De wijze van organisatie van kennis in het geheugen hangt dus samen met de mate van succes bij het oplossen van problemen.

Wanneer een student zijn kennis heeft opgebouwd uit probleemschemata, dan moet hij ook nog, geconfronteerd met een probleembeschrijving, het juiste probleemschema uit zijn geheugen selecteren. Deze selectie van probleemschemata kan plaatsvinden via kenmerken van de probleembeschrijving. In het in hoofdstuk 3 ge-

rapporteerde onderzoek waren kenmerken van probleemsituaties opgenomen in de kenniselementen waaruit probleemttypen (en de daarmee samenhangende probleemschemata) werden samengesteld. Matching van deze kenmerken met kenmerken van een aangeboden probleembeschrijving kan tot de selectie van een probleemschema leiden.

In de praktijk echter wordt een student niet geconfronteerd met geïsoleerde kenmerken van probleemsituaties maar met gehele probleembeschrijvingen. Het in hoofdstuk 4 beschreven onderzoek werd opgezet om de kennis van probleemsituaties van beginnende studenten te meten.

Een groep studenten kreeg een aantal probleembeschrijvingen uit het vakgebied E&M zeer kort te zien. Vervolgens werd hen gevraagd om na elke probleembeschrijving een reconstructie hiervan te maken. Het idee achter deze procedure is dat door de korte bestuderingstijd, studenten bij de reconstructie een beroep moeten doen op hun kennis van probleemsituaties.

Om zicht te krijgen op de samenhang tussen kennis van probleemsituaties en de mate van succes bij probleemoplossen werd de groep studenten verdeeld in studenten met een laag tentamencijfer ($x \leq 4$) voor E&M en studenten met een hoog tentamencijfer ($x \geq 8$). De belangrijkste resultaten uit dit laatste onderzoek zijn:

1. Zowel zwakke als goede studenten blijken kennis te hebben van probleemsituaties uit het vakgebied E&M.
2. Er is een verschil tussen beide groepen wat betreft de reconstructie van de vraagstellingen uit de probleembeschrijvingen. Goede studenten reconstrueerden de vraagstellingen veel beter dan zwakke studenten.
3. Een ander verschil tussen beide groepen is dat goede studenten beter dan zwakke hun kennis van probleemsituaties kunnen koppelen aan voor de oplossing relevante declaratieve en procedurele kennis.

5.2 Integratie van de onderzoeksresultaten

Hoe ziet goede kennis eruit? Een alomvattend antwoord op deze vraag is uiteraard niet te geven op grond van de resultaten van de hier gepresenteerde drie onderzoeken. Wel kan een begin worden gemaakt met het geven van een antwoord op deze vraag.

Wat het duidelijkst blijkt uit de resultaten van de experimenten is dat kennis die geschikt is voor probleemoplossen zodanig georganiseerd is, althans bij beginnende studenten, dat informatie in het geheugen gecentreerd is rond typen van problemen. Dit is dus een organisatie volgens probleemschemata. In het kaartsorteerexperiment uit hoofdstuk 3 kwam dit goed naar voren. Hier was sprake van een significante relatie tussen de mate waarin kennis volgens probleemschemata is georganiseerd en het vermogen (tentamen)problemen op te lossen. Een tweede aanwijzing voor het bestaan van een relatie tussen de organisatie van kennis en het vermogen problemen op te lossen werd gevonden in het probleemreconstructie-experiment uit hoofdstuk 4. Studenten met een hoog tentamencijfer bleken veel beter dan studenten met een laag tentamencijfer in staat de juiste declaratieve en procedurele kennis op te roepen bij hun kennis van probleemsituaties.

Opmerkelijk is dat het erop lijkt dat tussen goede en zwakke studenten overwegend sprake is van een *kwalitatief* verschil in kennis en niet van een *kwantitatief* verschil. In het kaartsorteerexperiment bijvoorbeeld legden beide groepen studenten ongeveer evenveel kenniselementen apart omdat zij deze niet kenden (dat aantal was voor beide groepen overigens zeer gering). Een ander aanwijzing voor het feit dat het zwakke studenten niet ontbreekt aan hoeveelheid kennis of dat zij andere geheugendeficiënties hebben werd gevonden in het reconstructie-experiment. Hier werd aan alle deelnemende studenten twee keer gevraagd een rij termen uit het vakgebied E&M kort te bestuderen en vervolgens te reproduceren. Bij beide rijen termen gaven de studenten met een laag tentamencijfer betere reproducties dan studenten met een hoog tentamencijfer. Hiermee samenhangend is dat dit experiment aanwijzingen bevatte dat goede studenten *diepere* kennis van probleemsituaties hebben dan zwakke studenten. Goede studenten waren beter in de reconstructie van een probleembeschrijving wanneer zij voor de reconstructie om moesten schakelen van modaliteit (dat wil zeggen dat de probleembeschrijving in figuur gegeven was en de reconstructie in woorden gegeven moest worden, of andersom), terwijl zwakke studenten betere reconstructies dan goede studenten gaven wanneer zij binnen één modaliteit konden blijven (verschillen waren hier overigens niet significant).

Het lijkt er dus op dat zwakke studenten zeker 'slimme' personen zijn, maar dat zij begripsmatige kennis (want daar is organisatie van kennis een indicator van) nog

tot op zekere hoogte missen. Idar & Ganiel (1985) constateerden iets dergelijks bij een onderzoek naar natuurkundekennis op middelbare school nivo. Zij vonden dat zwakke en middelmatige leerlingen vaak misconcepties van de stof hebben en dat zij zwak zijn in 'reasoning ability, mathematical skill and logical reasoning'. Zij merken daarbij het volgende op: "This situation was aggravated by the fact that superficial memorization of terminology and some knowledge of formula manipulation techniques were usually sufficient to mask the lack of understanding of concepts taught during the course" (p. 129). Ook Arons (1976; 1979) merkt op dat studenten die geen begrip van de stof hebben, in sommige opzichten een slimme indruk weten te wekken.

Hoe hangen de resultaten van deze twee onderzoeken naar de drie specifieke soorten kennis samen met het eerste onderzoek naar strategische kennis? In dat onderzoek werd niet gekeken naar strategische kennis apart van oplossituaties, maar naar de feitelijke toepassing van deze kennis bij het oplossen van problemen. De reden hiervoor was dat strategische kennis moeilijk 'abstract' te meten is. Een belangrijk resultaat uit dit onderzoek in verband met de vraag of strategische kennis een relatie heeft met succes bij probleemoplossen was dat zowel bij goede als foute oplossingen dezelfde 'kick and rush' strategie werd gehanteerd. Gebruik van strategie lijkt dus niet samen te hangen met succes.

Echter, het kan ook zo zijn dat de studenten uit dat onderzoek succes hadden 'ondanks' de door hen gehanteerde strategie. Kenmerk van de 'kick and rush' strategie is namelijk dat studenten eerst de fout ingaan en vervolgens blijven 'repareren'; een enkele keer zal dat dan ook wel lukken. Deze redenering geldt analoog voor de organisatie van de ander drie soorten kennis. Evenmin als een goede strategie een voldoende voorwaarde is voor het bereiken van een oplossing is een 'goede' organisatie van kennis dat. Ook bij een zeer slechte organisatie van kennis kan iemand die maar lang genoeg in zijn geheugen zoekt uiteindelijk 'bij toeval' op de benodigde declaratieve en procedurele kennis stuiten. Alleen wanneer hij de benodigde declaratieve en procedurele kennis niet of foutief in het geheugen heeft opgeslagen, zal de oplossing nooit bereikt worden.

De studenten uit het strategie-onderzoek waren 'middelmatige' studenten (zo gekozen omdat het onderzoek in eerste instantie een onderwijsexperiment was). Uit het kaartsorteer-onderzoek bleek dat deze groep van studenten een kennisorganisatie heeft die niet zo probleemgericht is als die van goede studenten (maar wel probleemgerichter dan die van zwakke studenten). Uit het reconstructie-experiment bleek dat zwakke studenten veel minder vaak dan goede studenten informatie over de vraagstelling in hun kennis van probleemsituaties hadden opgenomen. Als we veronderstellen dat middelmatige studenten wat dit laatste betreft eveneens tussen

goede en zwakke studenten inzitten, dan geven beide resultaten aan dat de kennis van middelmatige studenten hen er toe brengt dat zij bij het oplossen van problemen minder makkelijk een goede analyse maken, minder de mogelijkheid tot het plannen van de oplossing hebben en vaker in de fout zullen gaan waardoor zij weer naar de analysefase van hun strategie moeten terugkeren. Als hier bijgevoegd wordt de 'dwang naar het antwoord' die veel studenten schijnt te kenmerken dan zijn alle ingrediënten voor de geschetste 'kick and rush' strategie voorhanden. Met andere woorden: de kwaliteit van de kennis van zwakke en en middelmatige studenten maakt de kick and rush strategie voor hen de meest voor de hand liggende.

Als bovenstaande redenering wordt doorgetrokken dan zouden goede studenten dus (gelet op hun kennisorganisatie) een strategie kunnen volgen waarin wel geanalyseerd en gepland wordt. De in dit proefschrift uitgevoerde experimenten geven hier geen uitsluitel over, maar wel is dit te vinden in het eerder (in de hoofdstukken 1 en 2) geciteerde onderzoek van Finegold & Mass (1985). Zij vonden dat studenten met een hoog tentamencijfer (90% en hoger) vergeleken met middelmatige studenten (score van 60% en hoger) problemen beter analyseerden en planden, dat zij sneller tot een oplossing kwamen en dat zij relatief meer tijd dan de middelmatige oplosers spendeerden aan analyse en planning. Verder bleek (overigens niet significant) dat goede oplosers minder dan middelmatige oplosers niet toepasbare natuurkundige wetten gebruikten. Dit laatste maakt de resultaten van Finegold & Mass (1985) helemaal goed inpasbaar in wat in dit proefschrift gevonden werd, want hierbij komt de organisatie van kennis weer om de hoek kijken. Een verklaring voor het feit dat Finegold & Mass geen significant verschil constateerden in het gebruik van niet toepasbare wetten kan wellicht gevonden worden in een van de resultaten van het reconstructie-experiment. Goede studenten bleken wel beter dan zwakke studenten in staat om de juiste declaratieve en procedurele kennis bij hun kennis van probleemsituaties te noemen, maar zij noemden ook vrij vaak (even vaak als de zwakke studenten) declaratieve en procedurele kennis die niet toepasbaar was op de probleemsituatie. Mogelijk zijn de probleemschemata waarover goede studenten beschikken niet zuiver, maar bevatten zij naast de juiste informatie ook informatie die niet van toepassing is (oneigenlijke elementen) op het probleemtype waaraan het probleemschema gerelateerd is.

5.3 Draagwijdte van de resultaten

Bij de conclusies uit de paragrafen 5.1 en 5.2 moet de opmerking gemaakt worden dat het hier gepresenteerde onderzoek correlatieel van aard is, een oorzakelijk verband tussen de inrichting van de kennisbasis en prestaties bij probleemoplossen werd niet vastgesteld. Wel geldt wat McKeithen et al. (1981) eerder opmerkten bij een door hen uitgevoerd (correlatieel) onderzoek: "To conclude that learning this organization would *increase* skill requires a demonstration of within-subject skill changes. However, our intuitions that acquisition of well-ordered knowledge produces greater skill, reflected in our educational principles, would make such a demonstration, unsurprising." (p.324). Zo'n demonstratie zou de bewijskracht van het hier geponeerde uiteraard sterk verhogen.

Ook op andere punten is uitbreiding van het hier gerapporteerde onderzoek wenselijk. In dit proefschrift werd speciaal aandacht besteed aan één van de factoren die het oplossen van vakinhoudelijke problemen beïnvloeden (zie paragraaf 1.3.1). Echter, niet alleen kennis maar ook factoren als motivatie, nauwgezetheid en verschillende persoonlijkheidskenmerken bepalen mede of iemand succesvol is bij probleemoplossen. In de inleiding werd verondersteld dat dit soort factoren bij het soort problemen dat hier centraal staat een mindere belangrijke plaats in zouden nemen dan vakinhoudelijke kennis. Nagegaan moet worden of dit ook werkelijk zo is. In ieder geval moet voor een volledig beeld van de 'ideale' probleemoplosser ook onderzoek op dit terrein verricht worden.

Een tweede uitbreiding betreft het nagaan of de theorie en de resultaten van dit onderzoek ook opgaan voor andere soorten problemen en vakinhouden. Samuel (1984) wijst er bijvoorbeeld op dat bij problemen waarin de zoekruimte vrijwel onbeperkt is er andere processen belangrijker worden. Interessant is om te zien of er bij bijvoorbeeld ontwerpproblemen nog andere soorten kennis dan de vier in dit proefschrift onderscheiden soorten een rol spelen, of bepaalde soorten kennis meer nadruk verdienen, of er een andere geschikte organisatie van kennis is dan een organisatie volgens probleemschemata etc. Bovendien zouden bij andere problemen de noncognitieve factoren en de algemene cognitieve vaardigheden (zie paragraaf 1.3.1) wel eens een ander gewicht in de schaal kunnen leggen.

5.4 Praktische implicaties

Als meer bekend is over de inrichting van een adequate kennisbasis is de volgende (ook voor het onderwijs) interessante vraag: hoe komen kennisstructuren tot stand? Deze vraag is tweeledig. Op de eerste plaats kan onderzocht worden hoe een student zijn cognitieve structuur verwerft en of hierin verschillen bestaan tussen goede en zwakke studenten. De resultaten van de onderzoeken uit dit proefschrift kunnen dan een leidraad vormen bij het zoeken naar verschillen in bestuderingsprocessen. Momenteel vindt er op deze wijze een onderzoek plaats naar bestuderingsprocessen die zich voordoen bij het bestuderen van natuurkundige teksten (Ferguson-Hessler & De Jong, 1986a). Op de tweede plaats kan onderzocht worden hoe zo'n cognitieve structuur zich verder ontwikkelt wanneer een student verder gaat in een vakgebied en langzaam een expert wordt. Bijvoorbeeld: hoe komt men van een probleem-schemata structuur naar een hiërarchische structuur? Dit laatste soort vragen vereist longitudinaal onderzoek met alle problemen vandie (zie bv. Bransford, Nitsch & Pranks, 1977).

Doel van dit onderzoek naar bestuderingsprocessen is het maken van een 'inventarisatie' van bestuderingsprocessen die tot een adequate kennisbasis leiden. Als gevolg op deze inventarisatie van bestuderingsprocessen kan onderzocht worden welke onderwijsmaatregelen het uitvoeren van deze bestuderingsprocessen bevorderen. Dat er een relatie bestaat tussen instructiemethode, bestuderingsprocessen en leerresultaat werd eerder aangetoond in onderzoeken van Mayer & Greeno (1972) en Walker, Jones & Mar (1983). De resultaten uit dit proefschrift vormen dus de basis voor verder onderzoek naar het inrichten van onderwijs. Daarbij kunnen dan de bevindingen bij goed presterende studenten als model gehanteerd worden voor zwakke studenten. Dit lijkt een beter uitgangspunt dan het hanteren van 'expert kennis' als model voor beginners. Een expertmodel zou voor (beginnende) studenten gewoon niet haalbaar kunnen zijn. Been, Beetsma & Van den Berg (1984) maakten bijvoorbeeld duidelijk dat de wijze waarop experts farmaceutische problemen oplossen, slechts bereikt kan worden door een zeer lange praktische oefening en dus niet binnen bereik van beginners ligt.

Een verwante praktische toepassing van de resultaten van dit onderzoek ligt op het gebied van de ontwikkeling van computer coaches of computer tutors. Dit zijn computerprogramma's die een student begeleiden bij het oplossen van (vakinhoudelijke) problemen en die ingrijpen wanneer een student in de fout gaat. Wierlinga (1985) geeft een bespreking van dit soort systemen. Deze systemen bevatten onder andere een zogenaamde 'domein expert' en een 'student expert'. De laatste heeft als func-

tie een model van de kennis van een student te vormen, de eerste bevat onder andere de 'ideale kennis' en veel voorkomende misvattingen. Nauwgezette beschrijvingen van de cognitieve structuur van zowel goed als zwak presterende studenten zijn daarom van essentieel belang voor de ontwikkeling van dit soort programma's.

Summary

The main purpose of this thesis was to gain more insight into the content and manner of organization of the knowledge of a problem solver, searching especially for the characteristics of knowledge related to successful problem solving. This was done by means of a theoretical analysis and a number of experiments. The thesis was restricted to a particular kind of problem (exam-type problems in the domain of Electricity and Magnetism on the level of freshmen at a university of technology) and to a particular kind of problem solvers (namely those subjects usually asked to solve these kinds of problems, that is novice students at a university of technology).

It was assumed that a solver's knowledge base consists of four types of knowledge. These are:

- knowledge of problem situations
- declarative knowledge
- procedural knowledge
- strategic knowledge

Knowledge of problem situations applies to knowledge of problem statements as they normally occur in a specific domain. By means of this knowledge the solver recognizes problem statements and is able to interpret and categorize them. *Declarative knowledge* is knowledge of laws, formulas, principles, etc. This knowledge could be described as the 'theory' of the domain. These first two kinds of knowledge are not sufficient to solve a problem. The solver also needs *procedural knowledge*, i.e. knowledge of various actions permitted in a specific domain. With these actions the problem solver can manipulate the information given in the problem situation together with the declarative knowledge in order to get to a solution. Finally it is useful if the solver has *strategic knowledge* at his disposal. This strategic knowledge indicates how the solving process will proceed. It tells the solver in general terms which sequence of steps is useful to him. This last form of knowledge is less specific than the first three types of knowledge, which are only valid for a limited number of problem situations. Strategic knowledge is valid for various situations, but can be different for different domains or for larger units within one domain.

Apart from the *presence* of these types of knowledge in the memory of the student, their *organization* also seems to be of crucial importance for successful

problem solving. Confronted with a specific problem statement a solver has to select from his memory the right declarative and procedural knowledge. This selection is facilitated by an organization of knowledge in memory with which the right declarative and procedural knowledge is stored with the right knowledge of problem situations. This kind of knowledge organization is called an organization according to *problem schemata*. A problem schema is a particular amount of information in memory that applies to one type of problem and that is in principle sufficient to solve problems of that type. An adequate problem schema therefore, contains knowledge of a problem situation, declarative knowledge, and procedural knowledge. Strategic knowledge is valid for various types of problems within one domain and therefore is not contained in specific problem schemata.

In three experiments various aspects of the content and organization of knowledge of novice students were studied, and the correlation between these aspects and successful problem solving was determined.

In the first experiment (chapter 2) it was examined whether the students' problem solving performance could be increased by improving their strategic knowledge. Therefore apart from the regular instruction a number of students received extra instruction in an *experimental strategy*. This experimental strategy meant that the solving process is executed in the following sequential stages: analysis, the selection of key relationships, deciding on a solution path, execution, and finally verification. The results of this study were disappointing. Students that received the extra instruction in applying the experimental strategy, did not work according to this strategy to a higher degree than before the extra instruction. Moreover, in solving problems they followed the same strategy as the students from a control group that had not received the extra instruction. The strategy used by both groups of students was described as the 'kick and rush' strategy. This means that students after a (too) short analysis quickly plunged for a solution. So they frequently had to return again to the analysis in order to correct their original faulty solution.

Remarkably, this 'kick and rush' strategy was used both with good and faulty solutions. Apparently a correct solution could be achieved with the, theoretically spoken, less elegant strategy that the students used spontaneously. Therefore, in a following experiment the three more domain-specific components from the knowledge base were studied.

Chapter 3 describes a study into the organization of knowledge of problem situations, declarative knowledge, and procedural knowledge in the memory of students. This study investigated whether the degree of organization of these three

types of knowledge according to problem schemata is related to the students' performances at exams.

In this study the subject matter of the first-year subject of E&M was subdivided into twelve problem types (every problem type could be characterized by a physics principle). For every problem type elements of knowledge were constructed in such a way that each problem type consisted of at least one characteristic of a problem situation, one element of declarative and one of procedural knowledge. For the twelve problem types a total of 65 elements of knowledge resulted. Each of these 65 elements was printed on a card and students were asked to sort these cards into piles in such a way that cards in one pile were more closely related to each other than cards from separate piles.

For every student the degree of organization of his knowledge according to problem schemata could be determined on the basis of these sortings. Quite a strong correlation appeared to exist between the degree of organization of knowledge around problem schemata and the examination scores of these students for the subject of E&M. Students scoring high on examinations had their knowledge organized around problem schemata to a higher degree than students that scored low. Thus, the organization of knowledge in memory appears to be related with the degree of success in problem solving.

If a student has built up his knowledge around problem schemata, then, when confronted with a problem statement, he has to select the right problem schema from his memory. This selection of problem schemata can take place via characteristics of problem statements. In the study described in chapter 3 characteristics of problem situations were included into the knowledge elements from which problem types (and the correlating problem schemata) were constructed. Matching these characteristics with characteristics of a problem statement offered, can lead to the selection of a problem schema.

In practice, however, a student is not confronted with isolated features of problem situations, but with entire problem statements. The study described in chapter 4 was set up to measure the knowledge of problem situations of novice students.

A number of problem statements from the domain of E&M were shown each at a time to a group of students. They were asked to reconstruct each problem statement after they had seen it for a very short period of time. The idea behind this procedure is that because of the short period of exposure, in order to reconstruct the problem statements the students had to rely on their knowledge of problem situations.

To be able to measure the correlation between knowledge of problem situations and the degree of success in problem solving, the group of students was divided into

a group of students with low examination marks ($x \leq 4$) and a group with high marks ($x \geq 8$). The most important results of this latter study are:

1. Both poor and good students appear to have knowledge of problem situations in the E&M domain.
2. The groups differ as far as the reconstruction of the questions from the problem statements are concerned. Good students reconstructed the question far better than poor ones.
3. Another difference between both groups is that good students could much better link their knowledge of problem situations with the declarative and procedural knowledge relevant to the solution.

The results of the studies suggest that knowledge appropriate for problem solving is organized in such a way, at least for novice students, that information in memory is centered around problem types. This is called an organization according to problem schemata. This assumption is directly supported by the findings of the study in chapter 3 and also by the finding in chapter 4 that students with high examination marks are far better able to retrieve the declarative and procedural knowledge matching their knowledge of problem situations than students with low marks.

In chapter 2 no correlation was found between use of strategy and the successfully solving of a problem. This lack of correlation could be caused by the fact that the group of students in this experiment consisted of students with average performances. Probably good students with a knowledge base built up around problem schemata will tend to use a strategy like the experimental strategy of the experiment in chapter 2. With a knowledge base according to problem schemata, making a good analysis and planning are facilitated. Indications for the use of such a strategy by good students can be found in a study by Pinegold & Mass (1985). The presence of a correct and adequately organized knowledge base could thus be a precondition for the use of a good strategy.

Insight into the organization of a knowledge base appropriate for problem solving could be a starting point for specific research into learning processes taking place during the development of such an adequate knowledge base. Finally a survey of these types of learning processes provides the basis for devising and evaluating educational measures. These measures should promote these learning processes which will consequently lead to a more adequate knowledge base with students.

Literatuur

- 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* (pp. 191-230). Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum Ass.
- Anderson, R.C. (1984). Some reflections on the acquisition of knowledge. *Educational Researcher*, 5-11.
- Anderson, R.C., Pichert, J.W., & Shirey, L.L. (1983). Effect of the reader's schema at different points in time. *Journal of Educational Psychology*, 75(2), 271-279.
- Anzai, Y., & Simon, H.A. (1979). The theory of learning by doing. *Psychological Review*, 86(2), 124-140.
- Arons, A.B. (1976). Cultivating the capacity for formal reasoning: objectives and procedures in an introductory physical science course. *American Journal of Physics*, 44(9), 834-838.
- Arons, A.B. (1979). Cognitive level of college physics students. *American Journal of Physics*, 47(7), 650-651.
- Asher, J.J. (1963). Towards a neo-field theory of problem solving. *The Journal of General Psychology*, 68, 3-8.
- Atwood, M.E., & Polson, P.G. (1976). A process model for water jug problems. *Cognitive Psychology*, 8, 191-216.
- Baker, S.R., & Talley, L.H. (1974). Visualization skills as a component of aptitude for chemistry - A construct validation study. *Journal of Research in Science Teaching*, 11, 95-97.
- Been, P., Beetsma, Y., & Van den Berg, P. (1984). Een instructieprocedure voor het leren oplossen van praktische farmacologische problemen. In L.F.W. de Klerk & A.M.P. Knoers (Eds.), *Onderwijspsychologisch onderzoek* (pp. 127-137). Lisse: Swets en Zeitlinger.
- Berg, J.S. van den (1983). *Natuurkunde-vraagstukken-oplossen*. (dissertatie). Eindhoven: Technische Hogeschool Eindhoven.
- Berner, E.S., Bligh, T.J., & Guerin, R.O. (1977). An indication for a process dimension in medical problem-solving. *Medical Education*, 11, 324-328.
- Bhaskar, R., Dillard, J.F., & Stephens, R.G. (1983). Skill acquisition in the bookkeeping task. *Instructional Science*, 11, 329-356.
- Bhaskar, R., & Simon, H.A. (1977). Problem solving in semantically rich domains: An example from engineering thermodynamics. *Cognitive Science*, 1, 193-215.
- Boekaerts, M. (1983). Probleemoplossen: Een eclectische benadering. *Tijdschrift voor Onderwijsresearch*, 8, 193-217.
- Boonman, C. (1980). Studievaardigheden op de basisschool, STUBA project. In C. Boonman & J. Zwarts (Eds.), *Tekstbestudering* (pp. 162-180). Den Haag: SVO.
- Bosch, J.J. ten (1982). *Probleemoplossen in het tandheelkundig onderwijs. Informatie voor de docenten in het nieuwe curriculum tandheelkunde te Groningen*. Groningen: Rijksuniversiteit Groningen.
- Bransford, J.D., Nitsch, K.E., & Franks, J.J. (1977). Schooling and the facilitation of knowledge. In J.R. Anderson, R.J. Spiro & W.E. Montague (Eds.), *Schooling and the acquisition of knowledge* (pp. 31-55). Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum.

- Braune, R., & Foshay, W.R. (1983). Towards a practical model of cognitive information processing task analysis and schema acquisition for complex problem-solving situations. *Instructional Science*, 12, 121-145.
- Breuker, J. (1981). *Availability of knowledge*. (dissertatie). Amsterdam: Universiteit van Amsterdam.
- Bromage, B.K., & Mayer, R.E. (1981). Relationship between what is remembered and creative problem-solving performance in science learning. *Journal of Educational Psychology*, 73(4), 451-461.
- Burton, M. (1972). Semantic dimensions of occupation names. In A.K. Romney, K.N. Shepard, & S.B. Nerlove (Eds.), *Multidimensional scaling* (pp. 55-73). New York: Seminar Press.
- Champagne, A.B., Klopfer, L.E., Desena, A.T., & Squires, D.A. (1981). Structural representation of student's knowledge before and after science instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 18(2), 97-111.
- Chase, W.G. & Simon, H.A. (1973). Perception in chess. *Cognitive Psychology*, 4, 55-81.
- Chi, M.T., Feltovich, P.J., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.
- Chi, M.T., Glaser, R., & Rees, E. (1982). Expertise in problem-solving. In R.J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence* (pp. 7-77). Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum Ass.
- Chiesi, H.L., Spilich, G.J., & Voss, J.F. (1979). Acquisition of domain-related information in relation to high and low domain knowledge. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 18, 257-273.
- Clement, J. (1979). Mapping a student's causal conceptions from a problem-solving protocol. In J. Lochhead & J. Clement (Eds.), *Cognitive process instruction* (pp. 133-146). Philadelphia: The Franklin Institute Press.
- Clement, J., Lochhead, J., & Monk, G.S. (1981). Translation difficulties in learning mathematics. *Mathematical Education*, 88(4), 286-290.
- Cohen, J.A. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20, 37-46.
- Cowen, E.L. (1952). The influence of varying degrees of psychological stress on problem-solving rigidity. *Journal of Abnormal Social Psychology*, 47, 512-519.
- Crombag, H.F.M. (1970). Probleemoplossen: protocollen en programma's. *Nederlands Tijdschrift voor de Psychologie*, 25, 650-663.
- Crombag, H.F.M. (1978). Over het oplossen van meetkundige bewijsopgaven. *Nederlands Tijdschrift voor de Psychologie*, 33, 105-140.
- Crombag, H.F.M. (1984). Slecht-gedefinieerde problemen. In G.A.M. Kempen & Ch. Sprangers (Eds.), *Kennis, mens & computer* (pp.15-25). Lisse: Swets & Zeitlinger.
- Crombag, H.F.M., De Wijkerslooth, J.L., & Van Tuyll van Serooskerken, E.H. (1972). *Over het oplossen van casusposities*. Groningen: H.D. Tjeenk Willink.
- Davis, G.A. (1966). Current status of research and theory in human problem solving. *Psychological Bulletin*, 66(1), 36-54.
- Diekhoff, G.M. (1983). Testing through relationship judgments. *Journal of Educational Psychology*, 75(2), 227-233.
- Dijkstra, S., Van der Stelt, P.F., & Van der Sijde, P.C. (1983). Het effect van verschillende expertise-niveaus op de interpretatie van tandheelkundige röntgenfoto's. In J.J. Beishuizen, C. Hamaker, B. Van Nout-Wolters, & K.B. Koster (Eds.), *Onderwijsleerprocessen* (pp. 79-93). Lisse: Swets & Zeitlinger.

- Dijkstra, S., Van der Stelt, P.F., & Van der Sijde, P.C. (1985). *Novice-expert difference in eye fixations and eye movement patterns during diagnosing dental radiographs*. Paper presented at the Conference of the European Association for Research on Learning and Instruction (EARLI), Leuven, Belgium.
- Dillard, J.F., Bhaskar, R., & Stephens, R.G. (1982). Using first order cognitive analysis to understand problem solving behavior: An example from accounting. *Instructional Science*, 20, 37-46.
- Duncan, C.P. (1959). Recent research on human problem solving. *Psychological Bulletin*, 56(6), 397-429.
- Duncker, K. (1945). On problem-solving. *Psychological Monographs*, 58, Washington D.C.: The American Psychological Association.
- Egan, D.E., & Grimes-Farrow, D.D. (1982). Differences in mental representations spontaneously adopted for reasoning. *Memory and Cognition*, 10(4), 297-307.
- Egan, D.E., & Schwartz, B.J. (1979). Chunking in recall of symbolic drawings. *Memory and Cognition*, 7(2), 149-158.
- Elshout, J.J. (1983). Een expert is meer dan iemand die het nog niet kan. In P.J.D. Drenth, W. Kooops, J.F. Orlebeke & R.J. Takens (Eds.), *Psychologie in Nederland* (pp. 177-184). Lisse: Swets & Zeitlinger.
- Elshout, J.J. (1984). Experts en beginners. In G.A.M. Kempen & Ch. Sprangers (Eds.), *Kennis, mens en computer* (pp. 25-31). Lisse: Swets & Zeitlinger.
- Elshout, J.J. (1985). *Problem solving and education. State of the art paper*. Paper gepresenteerd op de Earli conferentie, 10-13 juni 1985 te Leuven, België.
- Elshout, J.J., & Wielinga, B. (1978). Leren probleemoplossen. In G. Kanselaar & J. Peeck (Eds.), *Strategieën in leer- en onderwijsproces* (pp. 78-90). Den Haag: SVO, Staatsuitgeverij.
- Elshout, J.J. & Wielinga, B.J. (1981). Simulatie van leren en probleemoplossen. *Nederlands Tijdschrift voor de Psychologie*, 36(5), 371-383.
- Elstein, A.S., Shulman, L.S., & Sprafka, S.A. (1978). *Medical problem solving. An analysis of clinical reasoning*. Cambridge: Harvard University Press.
- Ericsson, K.A. & Simon, H.A. (1980). Verbal reports as data. *Psychological Review*, 87, 215-251.
- Ericsson, K.A. & Simon, H.A. (1985). *Protocol analysis*. Cambridge: The MIT Press.
- Fenker, R.M. (1975). The organization of conceptual materials: A methodology for measuring ideal and actual cognitive structures. *Instructional Science*, 4, 33-57.
- Ferguson-Hessler, M.G.M., & Jong, T. de (1983a). *Markante (dwaal)wegen bij het oplossen van E & M problemen*. Eindhoven: Groep Onderwijsresearch/ Afdeling der Technische Natuurkunde THE, rapport 32.
- Ferguson-Hessler, M.G.M., & Jong, T. de (1983b). On success and failure in the solving of problems in electricity and magnetism. In: *Research on physics education* (pp. 271-279). Paris: Centre National de la Recherche Scientifique.
- Ferguson-Hessler, M.G.M. & Jong, T. de. (1985). *Probleemoplossen en de organisatie van natuurkundige kennis*. Groep Onderwijsresearch, rapport nr. 36. Eindhoven: THE.
- Ferguson-Hessler, M.G.M. & Jong, T. de. (1986a). *Bestudering van natuurkundige teksten door eerstejaars-studenten*. (in voorbereiding).
- Ferguson-Hessler, M.G.M. & Jong, T. de. (1986b). *On the quality of knowledge in the field of Electricity and Magnetism*. (submitted for publication).

- Finegold, M. & Mass, R. (1985). Differences in the processes of solving physics problems between good physics problem solvers and poor physics problem solvers. *Research in Science & Technological Education*, 3, 59-67.
- Flaherty, E.G. (1975). The thinking aloud technique and problem solving ability. *Journal for Educational Research*, 68(6), 223-225.
- Frederiksen, N. (1984). Implications of cognitive theory for instruction in problem solving. *Review of Educational Research*, 54(3), 363-407.
- Frijda, N.H., (1979). Kennisverwerving. In G.J. Meilenbergh (Ed.), *Rede als richtsnoer* (pp.83-98). Den Haag: Mouton.
- Frijda, N.H., & Elshout, J.J. (1976). Probleemoplossen en denken. In J.A. Michon, E.J.G. Eijkman & L.F.W. de Klerk (Eds.), *Handboek der Psychonomie* (pp.413-446). Deventer: Van Loghum Slaterus.
- Gabel, D.L., Sherwood, R.D. & Bnochs, L. (1984). Problem-solving skills of high school chemistry students. *Journal of Research in Science Teaching*, 21, 221-233.
- Garskof, B.E., & Houston, J.P. (1963). Measurement of verbal relatedness, an idiographic approach. *Psychological Review*, 70(3), 277-288.
- Geer, J.P. van de (1957). *A psychological study of problem solving*. (dissertatie). Leiden: Rijks Universiteit Leiden.
- Geslin, W.E. & Shavelson, R.J. (1975). An exploratory analysis of the representation of a mathematical structure in students' cognitive structures. *American Educational Journal* 12(1), 22-29.
- Gerritsen van der Hoop, J.W. (1986). *Het onderwijzen van theoretische begrippen waarover de leerling zelf al opvattingen heeft*. (dissertatie). Eindhoven: Technische Hogeschool Eindhoven (in voorbereiding).
- Glaser, R. (1982). Instructional psychology. Past, present and future. *American Psychologist*, 37(3), 292-305.
- Green, B.F. (1966). Current trends in problem solving. In B. Kleinmuntz (Ed.), *Problem Solving: Research, Method and Training* (pp. 3-19). New York: John Wiley & Sons.
- Greenfield, L.B. (1979). Student problem solving. *Engineering Education*, 709-712.
- Greeno, J.G. (1974). Hobbits and orcs: Acquisition of a sequential concept. *Cognitive Psychology*, 6, 270-292.
- Greeno, J.G. (1976). Cognitive objectives of instruction: Theory of knowledge for solving problems and answering questions. In D. Klahr (Ed.), *Cognition and Instruction* (pp. 123-161). Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum.
- Greeno, J.G. (1978a). Understanding and procedural knowledge in mathematics education. *Educational Psychologist*, 12(3), 262-283.
- Greeno, J.G. (1978b). Natures of problem-solving abilities. In W.K. Estes (Ed.), *Handbook of learning and cognitive processes* (pp. 239-271). Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum.
- Greeno, J.G. (1980). Trends in the theory of knowledge for problem solving. In D.T. Tuma & F. Reif (Eds.), *Problem solving and education* (pp. 9-25). Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum.
- Groner, M., Groner, R., & Bischof, W.F. (1983). Approaches to heuristics: A historical review. In M. Groner, R. Groner & W.F. Bischof (Eds.), *Methods of heuristics* (pp. 1-19). Hillsdale (NJ) Lawrence Erlbaum.
- Groot, A.D. de (1946) *Het denken van den schaker*. (dissertatie). Amsterdam: Noord-Hollandsche Uitgevers maatschappij.
- Groot, A.D. de (1966). Perception and memory versus thought: some old ideas and recent findings. In B. Kleinmuntz (Ed.), *Problem solving: Research, method and theory* (pp. 19-51). New York: John Wiley & Sons.
- Guilford, J.P. (1967). *The nature of human intelligence*. New York: McGraw-Hill.

- Hamaker, C. (1980). Over 'representatie'. Slotbeschuwing van de ORD '80 zitting gewijd aan tekstbestudering. In: C. Boonman & J. Zwarts (Eds.), *Tekstbestudering* (pp. 202-218). Den Haag: SVO.
- Hamel, R. (1985). *Het ontwerpproces bij architecten: model en protocol-analyse*. VF-Project: Kennisontwikkeling in formele domeinen, Memo 55. Universiteit van Amsterdam: Instituut voor Cognitie Onderzoek.
- Hayes, J.R. (1973). On the function of visual imagery in elementary mathematics. In W.G. Chase (Ed.), *Visual information processing* (pp. 177-215). New York: Academic Press.
- Hewson, P.W. & Posner, G.J. (1984). The use of schema theory in the design of instructional materials: a physics example. *Instructional Science*, 13, 119-139.
- Hinsley, D.A., Hayes, J.R., & Simon, H.A. (1977). From words to equations: Meaning and representation in algebra word problems. In M.A. Just & P.A. Carpenter (Eds.), *Cognitive processes in comprehension* (pp. 89-106). Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum Ass.
- Horton, D.L., & Mills, C.B. (1984). Human learning and memory. *Annual Review of Psychology*, 15, 361-394.
- Idar, J. & Ganiel, U. (1985). Learning difficulties in high school physics: development of a remedial teaching method and assessment of its impact on achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, 22, 127-140.
- Jansweijer, W.N.H., Elshout, J.J., & Wielinga, B.J. (1985). Het leren van de beginnende probleemoplosser. In J.G.L.C. Lodewijks & P.R.J. Simons (Eds.), *Zelfstandig leren* (pp. 102-110). Lisse: Swets & Zeitlinger.
- Johnson, D.M. (1956). Solution of anagrams. *Psychological Bulletin*, 66, 371-384.
- Johnson, S.C. (1967). Hierarchical clustering schemes. *Psychometrika*, 32(3) 321-254.
- Jong, T. de, & Ferguson-Hessler, M.G.M. (1982). *Voorwaarden voor het succesvol oplossen van problemen*. Eindhoven: Groep Onderwijsresearch. THE rapport nr. 30.
- Jong, T. de, & Ferguson-Hessler, M.G.M. (1983). Het effect van een instructie van een strategie voor het oplossen van natuurkundige problemen door eerstejaarsstudenten. In J.J. Beishuizen, C. Hamaker, B. van Hout-Wolters & K.B. Koster (Eds.), *Onderwijsleerprocessen: tekstverwerking, probleemoplossen en leermoeilijkheden* (pp. 93-103). Lisse: Swets en Zeitlinger.
- Jong, T. de, & Ferguson-Hessler, M.G.M. (1984). Strategiegebruik bij het oplossen van problemen in een semantisch rijk domein: Electriciteit en Magnetisme. *Tijdschrift voor Onderwijsresearch*, 9,(1), 3-16
- Kaufman, G. (1980). *Imagery, language and cognition*. Bergen: Universitetsforlaget.
- Kellogg, R.T. (1982). When can we introspect accurately about mental processes? *Memory and Cognition*, 10(2), 141-144.
- Köhler, W. (1925). *The mentality of apes*. New York: Harcourt Brace.
- Kolers, P.A., & Roediger, H.L. (1984). Procedures of mind. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 23, 425-449.
- Kotovsky, K., Hayes, J.R., & Simon, H.A. (1985). Why are some problems hard? Evidence from Tower of Hanoi. *Cognitive Psychology*, 17, 248-294.
- Landa, L.N. (1975). Some problems in algorithmization and heuristics in instruction. *Instructional Science*, 4, 99-112.
- Larkin, J.H. (1976). *Human problem solving in physics I: Global features of an information processing model*. Group in Science and Mathematics Education. Berkeley: University of California.
- Larkin, J.H. (1979). Processing information for effective problem solving. *Engineering Education*, 285-288.

- Larkin, J.H. (1981a). Cognition of learning physics. *American Journal of Physics*, 49(6), 534-541.
- Larkin, J.H. (1981b). Enriching formal knowledge: A model for learning to solve textbook physics problems. In J.R. Anderson (Ed.), *Cognitive skills and their acquisition* (pp. 311-335). Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum Ass.
- Larkin, J.H. (1983). The role of problem representation in physics. In D. Gentner & A.L. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 75-97). Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum Ass.
- Larkin, J.H., McDermott, J., Simon, D.P., Simon, H.A. (1980). Expert and novice performance in solving physics problems. *Science*, 208, 1335-1342.
- Lodewijks, J.G.L.C. (1981). *Leerstofsequenties, van conceptueel netwerk naar cognitieve structuur*. (dissertatie). Tilburg: Katholieke Hogeschool Tilburg.
- Lowe, B. (1982). A method of teaching problem solving to undergraduate engineering students. *British Journal of Educational Technology*, 13, 137-152.
- Luchins, A.S. (1942). Mechanization in problem solving: the effect of Einstellung. *Psychological Monographs*, 58.
- Maier, N.R.F. (1931). Reasoning in humans. II. The solution of a problem and its appearance in consciousness. *Journal of Comparative Psychology*, 12, 181-194.
- Malin, J.T. (1979). Information processing load in problem solving by network search. *Journal of Experimental Psychology. Human perception and performance*, 5, 379-390.
- Martin, J. (1984). Toward a cognitive schema theory of self-instruction. *Instructional Science*, 13, 159-180.
- Mayer, R.E. (1981). Frequency norms and structural analysis of algebra story problems into families, categories and templates. *Instructional Science*, 10, 135-175.
- Mayer, R.E. (1982). Memory for algebra story problems. *Journal of Educational Psychology*, 74(2), 199-217.
- Mayer, R.E., & Greeno, J.G. (1972). Structural differences between learning outcomes produced by different instructional methods. *Journal of Educational Psychology*, 63(2), 165-173.
- McKeithen, K.B., Reitman, J.S., Rueter, H.H., & Hirtle, S.C. (1981). Knowledge organization and skill differences in computer programmers. *Cognitive Psychology*, 13, 307-325.
- McNemar, O.W. (1955). An attempt to differentiate between individuals with high and low reasoning abilities. *American Journal of Psychology*, 68, 20-36.
- Messick, S. (1979). Potential uses of noncognitive measurement in education. *Journal of Educational Psychology*, 71, 281-292.
- Messick, S. (1984). The psychology of educational measurement. *Journal of Educational Measurement*, 21(3), 215-237.
- Mettes, C.T.C.W. (1984). Probleemoplossen en onderwijs. In L.F.W. de Klerk & A.M.P. Knoers (Eds.), *Onderwijspsychologisch onderzoek* (pp. 37-154). Lisse: Swets en Zeitlinger.
- Mettes, C.T.C.W., & Pilot A. (1980). *Over het oplossen van natuurwetenschappelijke problemen*. (dissertatie) Enschede: Onderwijskundig Centrum CDO/AVC.
- Mettes, C.T.C.W., Pilot, A., & Roossink, H.J. (1981). Linking factual and procedural knowledge in solving science problems: a case study in a thermodynamics course. *Instructional Science*, 10, 333-361.
- Miller, G.A. (1969). A psychological method to investigate verbal concepts. *Journal of Mathematical Psychology*, 6, 169-191.

- Mourant, R.R., & Rockwell, T.H. (1972). Strategies of visual search by novice and experienced drivers. *Human factors*, 14, 325-335.
- Neber, H. (1983). Denkforschung und Denkförderung. *Unterrichtswissenschaft*, 350-360.
- Nesher, P., & Teubal, E. (1975). Verbal cues as interfering factor in verbal problem solving. *Educational Studies in Mathematics*, 6, 41-51.
- Newell, A., & Simon, H.A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Nisbett, R.E., & Wilson, T.D. (1977). Telling more than we can know: Verbal reports on mental processes. *Psychological Review*, 84, 231-259.
- Norman, D.A. (1983). Some observations on mental models. In D. Gentner & A.L. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 7-15). Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum Ass.
- Norman, D.A., Gentner, D.R., & Stevens, A.L. (1976). Comments on learning schemata and memory representation. In D. Klahr (ed.), *Cognition and instruction* (pp. 177-197). Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum Ass.
- Olshavsky, J.E. (1976). Reading as problem solving: an investigation of strategies. *Reading Research Quarterly*, 12, 654-674.
- Olshavsky, J.E. (1978). Comprehension profiles of good and poor readers across materials of increasing difficulty. In P.D. Pearson & J. Hansen (Eds.), *Reading: Disciplined inquiry in process and practice*. Clemson, South Carolina: The National Reading Conference Inc.
- Paige, J.M., & Simon, H.A. (1966). Cognitive processes in solving algebra word problems. In B. Kleinmuntz (Ed.), *Problem solving, research, method and theory* (pp. 51-119). New York: John Wiley.
- Pellegrino, J.W. & Glaser, R. (1979). Cognitive correlates and components in the analysis of individual differences. In R.J. Sternberg & D.K. Detterman (Eds.), *Human intelligence: Perspectives on its theory and measurement*. Norwood N.J.: Ablex.
- Perfetto, G.A., Bransford, J.D., & Franks, J.J. (1983). Constraints on access in a problem solving context. *Memory and Cognition*, 11(1), 24-31.
- Polya, G. (1957). *How to solve it*. Princeton: University Press.
- Posner, G.M. (1978). *Cognitive science: Implications for curriculum research and development*. Paper presented at the AERA conference, Toronto.
- Posner, M.I., & McLeod, P. (1982). Information processing models, in search of elementary operations. *Annual Review of Psychology*, 33, 477-514.
- Raaymakers, J.G.W. (1984). *Psychologie van het geheugen*. Deventer: Van Loghum Slaterus.
- Radford, J., & Burton, A. (1974). *Thinking: its nature and development*. London: John Wiley & Sons.
- Rapoport, A., & Fillenbaum, S. (1972). An experimental study of semantic structures. In A.K. Romney, R.N. Shepard & S.B. Nerlove (Eds.), *Multidimensional scaling*. (pp.55-73). New York: Seminar Press.
- Reif, F. (1980). Theoretical and educational concerns with problem solving: Bridging the gaps with human cognitive engineering. In D.T. Tuma & F. Reif (Eds.), *Problem Solving and education* (pp.39-53). Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum Ass.
- Reif, F. (1983). Understanding and teaching problem solving in physics. In: *Research on Physics Education: Proceedings of the first international workshop Lalonde les Maures* (pp. 15-53). Paris: Centre National de la Recherche Scientifique.
- Reif, F., & Heller, J.I. (1982). Knowledge structure and problem solving in physics. *Educational Psychologist*, 17(2), 102-127.

- Reif, F., Larkin, J.H., & Brackett, G.C. (1976). Teaching general learning and problem-solving skills. *American Journal of Physics*, 44(3), 212-217.
- Reitman, J. (1976). Skilled perception in go: Deducing memory structures from interresponse times. *Cognitive Psychology*, 8, 336-356.
- Resnick, L.B. (1976). Task analysis in instructional design: Some cases from mathematics. In D. Klahr (Ed.), *Cognition and Instruction* (pp. 51-81). Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum Ass.
- Resnick, L.B., & Ford, W.W. (1981). *The psychology of mathematics for instruction*. Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum Ass.
- Resnick, L.B., & Glaser, R. (1976). Problem solving and intelligence. In L.B. Resnick (Ed.), *The nature of intelligence* (pp. 205-231). Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum Ass.
- Riley, M.S., Greeno, J.G., & Heller, J.I. (1983). Development of children's problem solving ability in arithmetic. In H.P. Glasburg (Ed.), *The development of mathematical thinking* (pp. 153-196). New York: Academic Press.
- Ronning, R.R. (1965). Anagram solution times: A function of the 'ruleout' factor. *Journal of Experimental Psychology*, 69, 35-39.
- Ronning, R.R., McCurdy, D., & Ballinger, R. (1984). Individual differences: A third component in problem-solving instructions. *Journal of Research in Science Teaching*, 21, 71-82.
- Rothkopf, E.Z. & Billington, M.J. (1979). Goal-guided learning from text: Inferring a descriptive processing model from inspection times and eye movements. *Journal of Educational Psychology*, 71, 310-327.
- Rowe, A.H. (1985). *Problem solving and intelligence*. Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum Ass.
- Rubinstein, M.F. (1980). A decade of experience in teaching an interdisciplinary problem-solving course. In D.T. Tuma & F. Reif (Eds.), *Problem solving and education* (pp. 25-39). Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum Ass.
- Rumelhart, D.E. (1980). Schemata: The building blocks of cognition. In R.J. Spiro, B.C. Bruce & W.F. Brewer (Eds.), *Theoretical issues in reading comprehension* (pp. 33-59). Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum Ass.
- Rumelhart, D.E. & Norman, D.A. (1981). Analogical processes in learning. In J.R. Anderson (Ed.), *Cognitive skills and their acquisition* (pp. 335-361). Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum.
- Rumelhart, D.E., & Ortony, A.E. (1977). The representation of knowledge in memory. In R.C. Anderson, R.J. Spiro & W.E. Montague (Eds.), *Schooling and the acquisition of knowledge* (pp. 99-137). Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum Ass.
- Samuel, A.E. (1984). Educational objectives in engineering design courses. *Instructional Science*, 13, 243-273.
- Schank, R.C., & Abelson, R.P. (1977). *Script, plans, goals and understanding: An inquiry into human knowledge structures*. Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum Ass.
- Scheerer, M. (1963). Problem-solving. *Scientific American*, 208, 118-128.
- Schoenfeld, A.H. (1979). Can heuristics be taught? In J. Lochhead & J. Clement (Eds.), *Cognitive process instruction* (pp. 315-338). Philadelphia: The Franklin Institute Press.
- Schoenfeld, A.H. (1983). Episodes and executive decisions in mathematical problem-solving. In R. Lesh & M. Landau (Eds.), *Acquisition of mathematics concepts and processes* (pp. 345-397). New York: Academic Press.

- Schoenfeld, A.H., & Herrmann, D.J. (1982). Problem perception and knowledge structure in expert and novice mathematical problem solvers. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 8(5), 484-494.
- Shavelson, R.J. (1972). Some aspects of the correspondence between content structure and cognitive structure in physics instruction. *Journal of Educational Psychology*, 63(3), 225-234.
- Shavelson, R.J. (1973). Learning from physics instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 10(2), 101-111.
- Shavelson, R.J. (1974). Methods for examining representations of a subject-matter structure in a students memory. *Journal of Research in Science Teaching* 11(3), 231-249.
- Shavelson, R.J., & Geeslin, W.E. (1975). A method for examining subject-matter structure in instructional material. *Journal of Structural Learning*, 4 199-218.
- Shavelson, R.J., & Stanton, G.C. (1975). Construct validation: Methodology and application to three measures of cognitive structure. *Journal of Educational Measurement*, 12(2), 67-85.
- Shepard, R.N. (1978). Externalization of mental images and the art of creation. In B.S., Randhawa & W.E. Coffman (Eds.), *Visual learning, thinking and communication* (pp. 133-189). New York: Academic Press.
- Silver, E.A. (1979). Student perceptions of relatedness among mathematical verbal problems. *Journal for Research in Mathematics Education*, 10, 195-210.
- Silver, E.A. (1981). Recall of mathematical problem information: Solving related problems. *Journal for Research in Mathematics Education*, 12(1), 54-64.
- Simon, H.A. (1978). Information-processing theory of human problem solving. In W.K. Estes (Ed.), *Handbook of learning and cognitive processes* (pp. 271-297). Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum Ass.
- Simon, H.A. (1980). Problem solving and education. In D.T. Tuma & F. Reif (Eds.), *Problem solving and education* (pp. 81-92). Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum Ass.
- Simon, H.A., & Barenfeld, M. (1969). Information-processing analysis of perceptual processes in problem solving. *Psychological Review*, 76(5), 473-483.
- Simon, H.A. & Gilmarin, K. (1973). A simulation of memory for chess positions. *Cognitive Psychology*, 5, 29-46.
- Simons, P.R.J. (1980). *Vergelijkenderwijs. Onderzoek naar de invloed van metaforen op het leren*. (dissertatie). Tilburg: Katholieke Hogeschool.
- Spilich, G.J., Vesonder, G.T., Chiesi, M.L., & Voss, J.F. (1979). Text processing of domain related information for individuals with high and low domain knowledge. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 18, 275-290.
- Stephens, R.G., Bhaskar, R., & Dillard, J.F. (1981). The role of task analysis in understanding problem-solving behavior. *Instructional Science*, 10, 23-45.
- Sternberg, R.J. (1982). A componential approach to intellectual development. In Sternberg, R.J. (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence*, vol I (pp. 413-465). Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum Ass.
- Sternberg, R.J. (1983). Criteria for intellectual skills. *Educational Researcher*, 12, 6-14.
- Stratmans, G. (1985). *Evaluatie in het tandheelkundig onderwijs*. (dissertatie). Nijmegen: Katholieke Universiteit Nijmegen.
- Streun, A. van (1980). *Enkele cognitieve aspecten van het oplossen van wiskundige problemen*. Groningen: Mathematisch Instituut.

- Streun, A. van (1982). Heuristisch wiskunde-onderwijs. *Pedagogische Studietoën*, 59, 317-333.
- Sweller, J., Mawer, R.F., & Ward, M.R. (1983). Development of expertise and mathematical problem solving. *Journal of Experimental Psychology: General*, 112, 639-661.
- Terlouw, C., & Mettes, C.T.C.W. (1982). Het leren ontwerpen van overheidsbeleid: van novice naar expert. In C. Van Dorp & A. Pilot (Eds.), *Aspecten van onderwijsresearch*. Lisse: Swets & Zeitlinger.
- Thorndyke, P.W., & Hayes-Roth, B. (1979). The use of schemata in the acquisition and transfer of knowledge. *Cognitive Psychology*, 11, 82-106.
- Thro, M.P. (1978). Relationships between associative and content structure of physics concepts. *Journal of Educational Psychology*, 70(6), 971-978.
- Vaags, D.W. (1975). *Over het oplossen van technische problemen*. (dissertatie). Eindhoven: Technische Hogeschool Eindhoven.
- Venselaar, K. (1985). *Kreativiteit en technisch ontwerpen, op zoek naar een oplossing*. Groep Onderwijsresearch, rapport 37. Eindhoven: THE.
- Verdonshot, M. (1984). *Dental treatment and problemsolving*. Dissertatie. Nijmegen: Katholieke Universiteit.
- verschaffel, L. (1984). *Representatie- en oplossingsprocessen van eerste-klassers bij aanvankelijke redactie-opgaven over optellen en aftrekken*. (dissertatie). Leuven: Katholieke Universiteit Leuven.
- Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Research in Science Teaching*, 1, 205-221.
- Vos, P. & Zuur, A.P. (1983). Over ruimtelijke interpretatie van plat afgebeelde moleculaire structuren. *Tijdschrift voor Onderwijsresearch*, 8, 172-189.
- Voss, J.F., Tyler, S.W., & Yengo, L.A. (1983). Individual differences in the solving of social science problems. In R.F. Dillon & R.R. Schmeck (Eds.), *Individual differences in cognition, Volume 1* (pp. 205-232). New York: Academic Press.
- Walker, N., Jones, J.P., & Mar, H.H. (1983). Encoding processes and the recall of text. *Memory and Cognition*, 11(3), 275-282.
- Weeren, J.H.P. van, Kramers-Pals, H., Mul, F.F.M. de, Peters, M.J., & Roossink, H.J. (1979). *Project elektriciteit en magnetisme. Eerste tussentijds verslag*. Enschede: THT, CDO/AVC.
- Wertheimer, M. (1945). *Productive thinking*. New York: Harper & Brothers.
- Wickelgren, W.A. (1974). *How to solve problems*. San Francisco: Freeman.
- Wickelgren, W.A. (1979). *Cognitive psychology*. Englewood Cliffs (NJ): Prentice-Hall.
- Wielinga, B.J. (1985). Kennisgebaseerde systemen ten behoeve van onderwijs. In J. Heene & T. Plomp (Eds.), *Onderwijs en informatietechnologie* (pp. 99-117). 's Gravenhage: SVO.
- Willems, J. (1981). Problem-based (group)teaching: A cognitive science approach to using available knowledge. *Instructional Science*, 10, 5-21.
- Wolff, A.S., Mitchell, D.K., & Frey, P.W. (1984). Perceptual skill in the game of Othello. *The Journal of Psychology*, 118, 7-16.
- Wortman, P.M. (1972). Medical diagnosis. An information-processing approach. *Computers and Biomedical Research*, 5, 315-328.
- Wouters, L., & Jong, T. de (1982). Hardop denken tijdens tekstbestudering. *Tijdschrift voor Onderwijsresearch*, 7(2), 60-76.

Namenregister

- Abelson
35
- Anderson, J.R.
8, 9, 29, 42, 132
- Anderson, R.C.
31, 38, 136
- Anzai
9
- Arons
182
- Asher
5
- Atwood
9
- Baker
139
- Ballinger
22
- Barenfeld
9, 24
- Been
185
- Beetsma
185
- Berner
9
- Bhaskar
9, 11, 16
- Billington
24
- Bischof
16
- Boekaerts
123
- Boonman
34
- Brackett
9
- Bransford
31, 185
- Braune
24, 27, 36-38, 107
- Breuker
66
- Bromage
105
- Burton, A.
3
- Burton, M.
112
- Champagne
103-105
- Chase
9, 38, 41, 134, 160
- Chi
8, 9, 25, 35, 36, 38, 40, 42, 44,
45, 47-49, 51, 89, 106-108, 124,
125, 131
- Chiesi
136, 161
- Clement
23
- Cohen
70, 139
- Cowen
6
- Crombag
9, 14, 15, 17, 18, 48
- Davis
3, 4, 13
- De Groot
6, 7, 41, 46, 51, 134, 135
- De Jong
19, 27, 61, 63, 86, 99, 123, 125,
185
- De Mul
15
- Desena
103
- Diekhoff
126
- Dijkstra
24, 46
- Dillard
9, 11
- Duncan
4, 13
- Duncker
6
- Egan
23, 41, 47, 134, 135, 161, 163
- Elshout
8, 13, 16, 24, 41, 43, 51, 86, 132
- Elstein
9
- Enochs
9
- Ericsson
9, 61, 140

- Feltovich
 8
 Fenker
 100, 102, 104, 105, 107
 Ferguson-Hessler
 19, 27, 86, 125, 185
 Fillenbaum
 112
 Finegold
 48, 49, 51, 86, 183, 190
 Flaherty
 22, 61
 Ford
 28, 100
 Foshay
 24, 27, 36-38, 107
 Franks
 31, 185
 Frederiksen
 8, 10, 18, 20, 27, 133
 Frey
 41
 Frijda
 13, 36
 Gabel
 9
 Ganiel
 182
 Garskof
 102
 Geeslin
 41, 100, 104, 106, 107
 Gentner
 34
 Gerritsen van der Hoop
 23
 Glaser
 7, 8, 11, 27, 40
 Green
 4
 Greenfield
 123
 Greeno
 2, 9, 14, 15, 18, 27, 28, 99,
 100, 132, 133, 165, 185
 Grimes-Farrow
 23
 Groner
 16
 Guerin
 9
 Guilford
 7
 Hamaker
 35
 Hamel
 9
- Hayes
 9, 37, 139
 Hayes-Roth
 36
 Heller
 27, 28, 124, 125
 Herrmann
 25, 38, 107
 Hewson
 34
 Hinsley
 37, 39
 Hirtle
 41
 Horton
 35
 Houston
 102
 Idar
 182
 Jansweiler
 41, 43, 46, 47
 Johnson, D.M.
 6
 Johnson, S.C.
 116
 Jones
 185
 Kaufman
 13
 Kellogg
 61
 Kline
 9
 Klopfer
 103
 Kolers
 135
 Kotovsky
 9
 Köhler
 5, 37
 Kramers-Pals
 15
 Landa
 17
 Larkin
 8, 9, 19, 32, 33, 35, 41, 43, 44,
 47, 78, 163
 Lochhead
 23
 Lodewijks
 27
 Lowe
 58, 90
 Luchins
 5

- Maier
 5, 6
 Malin
 89
 Mar
 185
 Martin
 35, 38
 Mass
 48, 49, 51, 88, 183, 190
 Mawer
 43
 Mayer
 24, 105, 106, 133, 134, 136,
 137, 161, 185
 McCurdy
 22
 McDermott
 43
 McKeithen
 41, 49, 51, 135, 138, 161, 184
 McLeod
 29, 31
 McNemar
 4
 Messick
 22, 23, 27-29, 48
 Mettes
 10, 13, 14, 16, 19, 27, 29, 42,
 53, 54, 58, 60, 62, 63, 65, 105
 Miller
 112
 Mills
 35
 Mitchell
 41
 Monk
 23
 Maurant
 47
 Neber
 9
 Neshier
 131
 Neves
 9
 Newell
 8, 9, 14, 23, 30
 Nisbett
 61
 Nitsch
 185
 Norman
 33, 34, 38
 Olshavsky
 63
 Ortony
 33, 34, 134
 Paige
 131
 Pellegrino
 7
 Perfetto
 31, 32
 Peters
 15
 Pichert
 136
 Pilot
 10, 13, 14, 16, 19, 29, 53, 54,
 58, 60, 62, 63, 65, 105
 Polson
 9
 Polya
 10, 15
 Posner
 27, 29, 31, 34
 Raaymakers
 8
 Radford
 3
 Rapoport
 112
 Rees
 40
 Reif
 9, 15, 16, 28, 29, 53, 54, 86,
 105, 124-126
 Reitman
 9, 41, 134, 135, 161
 Resnick
 1, 11, 27, 28, 100
 Riley
 27, 132, 133
 Rockwell
 47
 Roediger
 35
 Ronning
 4, 22
 Roossink
 10, 15
 Rothkopf
 24
 Rowe
 3, 7
 Rueter
 41
 Rumelhart
 33, 34, 134, 139
 Samuel
 184
 Schank
 35
 Scheerer
 5, 6

- Schoenfeld
 25, 29, 30, 38, 43, 44, 47, 58,
 89, 107
 Schwartz
 41, 47, 134, 135, 161, 163
 Shavelson
 41, 47, 99, 100, 102-107
 Shepard
 140
 Sherwood
 9
 Shirey
 136
 Shulman
 9
 Silver
 49, 51, 106-108, 133, 137
 Simon, H.A.
 8, 9, 14, 16, 17, 20, 23, 24, 27,
 30, 37, 38, 41, 43, 61, 131, 132,
 134, 140, 160
 Simon, D.P.
 43
 Simons
 1
 Spillich
 136
 Sprafka
 9
 Squires
 103
 Stanton
 41, 100, 102-104
 Stephens
 9, 11
 Sternberg
 7, 21, 133
 Stevens
 34
 Straetmans
 10
 Sweller
 43
 Talley
 139
 Ten Bosch
 10
 Terlouw
 10
 Teubel
 131
 Thorndyke
 36
 Thro
 100, 104, 105, 107
 Tyler
 7
 Vaags
 3, 9, 22, 23
 van de Geer
 5
 Van den Berg, J.S.
 10
 Van den Berg, P.
 185
 Van der Sijde
 24
 Van der Stelt
 24
 van der Waerden
 139
 Van Streun
 28, 43
 Van Weeren
 15, 58, 60
 Venselaar
 9
 Verdonschot
 10
 Verschaffel
 132-134, 137
 Vesonder
 136
 Viennot
 23
 Vos
 9, 139
 Voss
 7, 136
 Walker
 185
 Ward
 43
 Wertheimer
 6
 Wickelgren
 15, 33
 Wielinga
 8, 24, 41, 132, 185
 Willems
 15, 32
 Wilson
 61
 Wolff
 41, 134, 135, 160, 161
 Wortman
 9
 Wouters
 61, 63, 99
 Yengo
 7
 Zuur
 9, 139

Curriculum vitae

Ton de Jong werd op 8 mei 1956 geboren te Amsterdam. Daar bezocht hij het Nicolaaslyceum waar hij in 1974 het diploma Gymnasium 3 behaalde. In datzelfde jaar werd begonnen met de studie psychologie te Amsterdam. Dit resulteerde in januari 1981 in het doctoraalexamen (cum laude) met als hoofdrichting 'Onderwijspsychologie'. Tijdens zijn studie liep hij stage bij het CITO te Arnhem. Van februari 1981 tot en met december van dat jaar was hij (deeltijds) werkzaam bij de Onderwijskundige Dienst van de Technische Hogeschool Delft en sinds januari 1982 (ook deeltijds) bij de groep Onderwijsresearch van de Technische Hogeschool Eindhoven. Met ingang van mei 1986 is hij tevens verbonden aan de vakgroep i.o. Sociaal Wetenschappelijke Informatica van de Sociale Faculteit aan de Universiteit van Amsterdam. Eerder publiceerde hij over beoordelingsproblematiek bij examens en over de bestudering van teksten.

Stellingen behorende bij het proefschrift

KENNIS EN HET OPLOSSEN VAN VAKINHOUDELIJKE PROBLEMEN

Ton de Jong

1. Voor het bereiken van de juiste oplossing van vakinhoudelijke problemen is naast de inhoud van de vak kennis van een persoon ook en vooral de organisatie van die kennis in zijn/haar geheugen van belang.
2. Het doceren van een systematische strategie voor het oplossen van vakinhoudelijke problemen lijkt dan pas zinvol wanneer tevens de instructie van declaratieve, procedurele en situationele kennis van studenten aan deze strategie wordt aangepast.
3. Onderzoek naar het oplossen van problemen, waarin het aantal proefpersonen zeer klein is (met zelfs $n = 1$) gaat voorbij aan de mogelijkheid dat er verschillen tussen personen kunnen bestaan en is dus op zijn minst onvolledig.
4. Wanneer een onderzoeker kwalitatieve prestaties van proefpersonen moet beoordelen, is het noodzakelijk dat de onderzoeker (beoordelaar) tijdens de beoordeling onwetend is van voor het experiment cruciale eigenschappen van de proefpersonen (bijvoorbeeld hun expertisenivo of de experimentele groep waartoe zij behoren). Dit om te voorkomen dat zijn beoordeling beïnvloed wordt.

N.a.v. Rosenthal, R. (1969). Interpersonal expectations: Effects of the experimenter's hypothesis. In R. Rosenthal & R.L. Rosnow (Eds.), Artifact in behavioral research (pp. 182-279). New York: Academic Press.
5. Zolang er tussen onderzoeken grote verschillen bestaan in het nivo waarop experts en beginners gedefinieerd worden, is het niet zinvol te spreken over het expert-beginner paradigma.

6. Het geven van gedetailleerde correctievoorschriften bij (middelbare-school) examens met het doel de interbeoordelaarsbetrouwbaarheid te verhogen dient vooraf gegaan te worden door onderzoek waarin oorzaken voor niet overeenstemming tussen beoordelaars achterhaald worden.

Ton de Jong, Correctievoorschriften voor de beoordeling van open vragen en interbeoordelaarsbetrouwbaarheid. Tijdschrift voor Onderwijsresearch, 1981, 6(5), 217-230.

7. De methode van hardop denken is methodologisch verantwoord toe te passen bij de bestudering van teksten en kan een belangrijke rol spelen bij verdere theorievorming op dit gebied.

Lunk Wouters & Ton de Jong, Hardop denken tijdens tekstbestudering. Tijdschrift voor Onderwijsresearch, 1982, 7(2), 60-76.

8. Het feit dat vergeten selectief kan plaats vinden heeft voor (promotie)onderzoeken die lang duren en waarover niet tussentijds wordt gerapporteerd mogelijk tot gevolg dat uiteindelijk een te rooskleurig beeld van de (onderzoeks-) werkelijkheid geschilderd wordt.

9. Het voeren van een academische titel bij gelegenheden die niets met de specifieke inhoud van de achterliggende studie te maken hebben, duidt op een misplaatst idee van algemene competentie.

10. Het gezegde 'zand erover' is door bedrijven die verantwoordelijk zijn voor het ontstaan van gifwijken te letterlijk opgevat.