

5. Het artificiële-intelligentieparadigma

Ervaringen met een nieuwe methodologie voor cognitief-psychologisch onderzoek

Gerard Kempen*

1. INLEIDING

In enkele sectoren van de cognitieve psychologie houdt zich al geruime tijd een type onderzoekers op dat te werk lijkt te gaan op nogal onorthodoxe wijze. Ze besteden niet het grootste deel van hun tijd aan het uitvoeren van experimenten en het bewerken van meetgegevens. In plaats daarvan schrijven ze computerprogramma's - meestal in een exotische programmeertaal die Lisp heet. Deze programma's zetten computers aan tot gedragingen die soms wel iets weg hebben van menselijke cognitieve activiteit. De goed gelijkende exemplaren van zulke gedragssimulaties krijgen dan het keurmerk "psychologisch model" of "psychologische theorie" opgeplakt. Meer traditioneel ingestelde vakgenoten slaan de bezigheden van deze lieden argwanend gade, want in hun werkwijze valt weinig te bespeuren van pogingen tot empirische toetsing van de zogeheten theorieën en modellen.

De methode die ik hier kort en karikaturaal heb beschreven komt voort uit een wetenschapsgebied dat zich ooit met de nogal pretentieuze naam Artificiële Intelligentie (AI) en

* Vakgroep Functieleer, Psychologisch Laboratorium, Katholieke Universiteit Nijmegen.

Het onderzoek waaruit dit artikel voortkomt werd gesubsidieerd door ZWO in het kader van twee projecten over De Ontwikkeling van een Zinnengenerator voor het Nederlands (nos. 15.30.04 en 15.30.06), het Special Project on Descriptive Language (no. 15.30) en het Project Zinsperceptie door Zinsproduktie (no. 15.30.07).

staat te boek als het AI-paradigma. Sedert 1976 heb ik mijn eigen onderzoek volgens dit paradigma ingericht. Ondanks een aantal tegenslagen - waarover straks meer - ben ik tot de overtuiging gekomen dat het voor vele onderwerpen uit de cognitieve psychologie zeer vruchtbaar kan zijn. Aan de andere kant heb ik vaak ervaren dat het AI-paradigma als psychologische/psychonomische onderzoeksmethode vaak verward wordt met Artificiële Intelligentie sec - een terrein van wetenschap dat weliswaar sterke aantrekkingskracht uitoefent op cognitief-psychologen maar dat toch op de eerste plaats tot de informatica gerekend moet worden. Daarom heb ik mij voorgenomen in dit artikel een scherp omlijdend beeld van het AI-paradigma te ontwikkelen en te situeren tegen de achtergrond van de gebruikelijke methoden van theoretisch en empirisch onderzoek in psychologie en psychonomie. Ik hoop hiermee een tweeledig doel te bevorderen: enerzijds dat beoefenaars van het AI-paradigma in hun enthousiasme niet de grondregels van het wetenschapsbedrijf overtreden, anderzijds dat sceptische vakgenoten het paradigma op zijn waarde leren schatten.

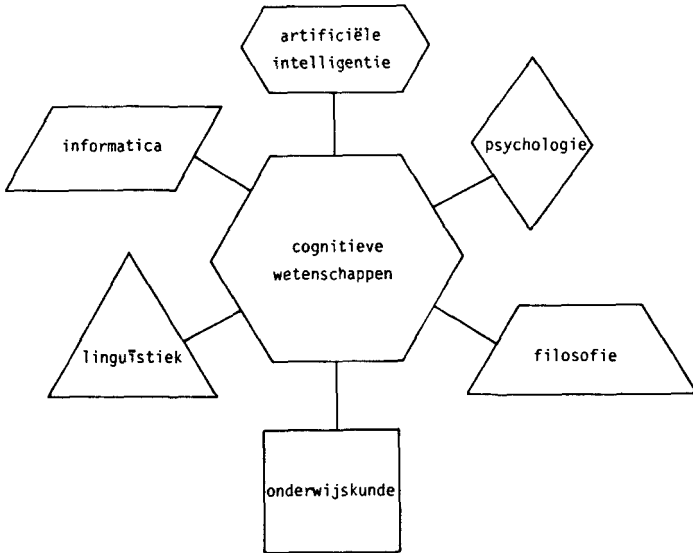
2. ARTIFICIELE INTELLIGENTIE

Na een zeer turbulente jeugd lijkt de Artificiële Intelligentie, inmiddels zo'n vijftienvintig jaar oud, een soort van volwassenheid bereikt te hebben. Haar verrichtingen en verworvenheden worden nu ook in aanpalende terreinen van wetenschap serieus genomen, mede onder de druk van het onbetwistbare succes van de eerste commerciële toepassingen. Tot deze laatste reken ik vooral expertsystemen en taalverwerkers (m.n. dialoogsystemen). Ook heeft zich een centraal onderwerp uitgekristalliseerd: de efficiënte behandeling van complexe kennisbestanden. Onder "kennis" versta ik hier informatie die heterogene collecties van rijk gestructureerde objecten weergeeft. Dit laatste in tegenstelling tot de informatie die we aantreffen in "gewone" gegevensbestanden (databanken). Deze heeft typisch betrekking op een verzameling van objecten die allemaal dezelfde, relatief eenvoudige structuur bezitten. (Denk aan databanken in de sfeer van personeelsadministratie of literatuurdocumentatie.) Artificiële Intelligentie laat zich derhalve omschrijven in deze volzin: het geheel van theorieën en methoden voor de ontwikkeling en

(computer)implementatie van algoritmen welke het mogelijk maken efficiënt te werken met grote hoeveelheden gegevens die betrekking hebben op heterogene collecties van rijk gestructureerde objecten. Een heel adequate - zij het minder tot de verbeelding sprekende - benaming van het gebied zou daarom kunnen zijn: kennistechnologie.

3. COGNITIEWETENSCHAP

In 1975 verschijnt een invloedrijk boek van de informaticus D.G. Bobrow en de psycholoog A. Collins waarin een nieuw samengaan van wetenschappen wordt gepropageerd. Vakgebieden die (de verwerving, opslag, toepassing van) kennis tot voorwerp van studie hebben, zouden zich moeten verenigen onder de naam cognitiewetenschap. Dit beroep geldt met name (onderdelen van) psychologie, informatica, linguïstiek, onderwijskunde en filosofie (fig. 1). In de Verenigde Staten is dit idee enorm aangeslagen; ook in Europa en Japan begint men de profijtelijkheid van dit samenwerkingsverband te zien.



Figuur 1. De cognitiewetenschap (vrij naar Bobrow en Collins, 1975).

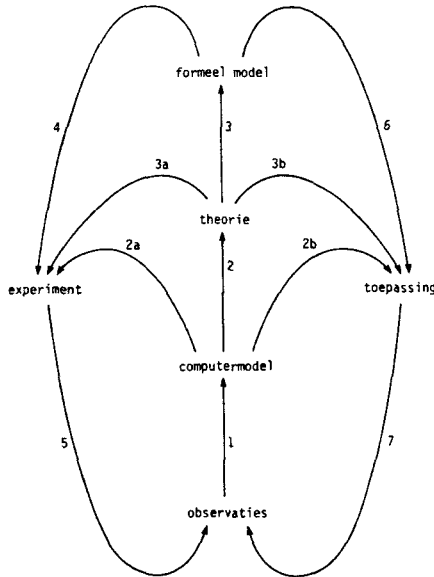
Er is sindsdien een sterke wisselwerking ontstaan tussen met name AI-onderzoekers en psychologen. Het meest tastbare gevolg voor de psychologie/psychonomie is geweest een nieuwe stijl van theorievorming die men synthetisch zou kunnen noemen. Gebruikmakend van kennistechnologische gereedschappen probeert de onderzoeker al vrij snel een werkend computersysteem te bouwen dat het menselijke cognitieve gedrag dat hij/zij bezig is te bestuderen, getrouw nabootst. Hij houdt hierbij natuurlijk rekening met de empirische verschijnselen die over dit cognitieve gedrag bij mensen zijn geobserveerd. Het problematische aan deze onderneming is gelegen in de "ondergedetermineerdheid" van het resulterende computermodel: niet alle assumpties die nodig waren om de computer tot (simulatie van) cognitief gedrag te brengen, worden gedekt door empirische verschijnselen. Omdat het gewoonlijk gaat om grote aantallen van zulke onbewezen assumpties neemt de onderzoeker een niet onaanzienlijk risico. In de gebruikelijke analytische stijl van theorievorming houdt men het risico van onbewezen assumpties die later onwaar blijken te zijn, liever zo laag mogelijk. De onderzoeker die deze stijl volgt, poogt het bestudeerde gedrag te "ontbinden in factoren". D.w.z. op basis van meetgegevens en observaties legt hij een lijst aan van "factoren" (onafhankelijke variabelen) die het gedrag (mee)bepalen, liefst vergezeld van indicaties over verbanden tussen de gevonden factoren. Het empirische netwerk van factoren wordt dan in verband gebracht met een stelsel van "hypothetische constructa, die verondersteld worden het gedrag te bepalen. Psychologen veronderstellen dat mensen zich zus of zo gedragen omdat ze bepaalde trekken of disposities hebben, of omdat de situatie door hen op een bepaalde manier wordt opgevat, en ze duiden dat aan met hypothetische constructen". Roskam, van wie dit citaat afkomstig is (1982, p.356) voegt er echter onmiddellijk aan toe dat deze - volledig ingeburgerde en geaccepteerde - werkwijze in wezen zeer onbevredigend is: "In de achttiende eeuw werd het verbranden van stoffen "verklaard" door aan te nemen dat brandbare stoffen een "brandstof", phlogiston genaamd, bevatten, die bij verbranding vrijkomt. Onbrandbare stoffen zouden geen phlogiston bevatten ... Het "bezitten" van phlogiston als "oorzaak" van verbranding is een voorstelling die doet denken aan het "bezitten" van zwaarte als "oorzaak" van vallen. In de psychologie is de voorstelling dat wij vermogens en behoeften bezitten hiermee

vergelijkbaar. Zo was ook het begrip "perceptual defence" een begrip met schijnbaar verklarende waarde ... De psychologie verkeert, dunkt mij, in een ontwikkelingsfase die met de middeleeuwse natuurkunde vergelijkbaar is, namelijk dat voortdurend getracht wordt met hypothetische constructa de samenhang en het verloop van gedrag te "begrijpen".

Deze typering is niet van toepassing op grote onderdelen van de psychonomie, bijv. de sensorische perceptie-leer, waar men al lang gewend is te theoretiseren in termen van processen of mechanismen. Factoren die tot betrouwbare effecten leiden krijgen hier niet de status van hypothetisch construct maar spelen de rol van randvoorwaarden waaraan het gedrag van het in de theorie voorgestelde mechanisme of proces moet voldoen. D.w.z. ze helpen de theoreticus te kiezen uit een veelheid van mogelijke mechanismen, beperken zijn zoekruimte. Dat belangrijke onderwerpen van de psychologie inmiddels toegankelijk zijn voor deze procesgerichte wijze van theorievorming, kan in hoofdzaak op het credit der cognitiewetenschap geschreven worden. Met behulp van het nieuwste kennistechnologisch instrumentarium is men erin geslaagd voor complexe vormen van menselijk gedrag - tekstbegrip, taalproductie, verdringing, paranoia, memorisatie - concrete mechanismen uit te werken die dit gedrag heel aardig nabootsen. De theoreticus die deze onderwerpen bestudeert benadert momenteel de gefortuneerde positie van de psychonoom die gemakkelijk meerdere plausibele mechanismen kan opnoemen of bedenken, waaruit hij dan na uitvoerig experimenteel onderzoek weloverwogen kan kiezen. Zonder de - weliswaar risicodragende - synthetische stijl van theorievorming zouden deze onderwerpen nu nog in een bijkans middeleeuws duister zijn gehuld ...

4. HET AI-PARADIGMA

Het AI-paradigma dat zich de laatste jaren in enkele cognitief-psychologische laboratoria heeft ontwikkeld, is in zekere zin een mengvorm van de analytische en synthetische stijlen van onderzoek, zij het dat hypothetische constructa in voornoemde zin uit den boze zijn. Enerzijds worden met behulp van AI-technieken gedetailleerde procesmodellen ontwikkeld, anderzijds wordt op uitgebreide schaal empirisch werk verricht. De resulterende methode van onderzoek blijft



Figuur 2. Het AI-paradigma.

geheel en al binnen de kaders van de empirische cyclus zoals beschreven door De Groot (1961). Dit moge blijken uit pijlen 1,2,...5 van fig. 2.

De eerste stap (pijl 1) op weg naar een geformaliseerde theorie ("formeel model") bestaat uit het ontwerpen en implementeren van een computermodel. Zo'n model kan men zich opgebouwd denken uit programmatuur (de specificatie van een algoritme) en apparatuur (de machine die het algoritme uitvoert). Het uitwendige observeerbare gedrag van het model hangt van beide componenten af. De "functionele architectuur" (Pylyshyn, 1980) van hedendaagse computers wijkt sterk af van die van de hersenen. Computers bevatten een zeer klein aantal processoren (vaak niet meer dan één) zodat een sterk beroep nodig is op sequentiële (seriële) verwerking. De hersenen daarentegen zijn dankzij het grote aantal processoren ideaal toegerust voor parallele informatieverwerking.

Dit onderscheid tussen hersenen en computers is één goede reden waarom een computermodel niet gelijkgesteld mag

worden met een theorie (tenzij de functionele architectuur van de hersenen op een of andere manier nagebootst wordt op de computer, maar dat is bij mijn weten nooit serieus geprobeerd). Een programma kan echter evenmin als theorie worden beschouwd: theorieën bestaan uit "proposities" die waar of vals zijn; programma's bestaan uit "commando's" die uitgevoerd moeten worden maar geen waarheidswaarde kennen. De weg van computermodel naar theorie (pijl 2) houdt derhalve twee dingen in. Enerzijds is een abstractieproces nodig dat alles wat "des computers" is als irrelevant aanmerkt. Anderzijds moet van alle resterende - relevant geachte - aspecten van de werking van het model een beschrijving vervaardigd worden. Deze beschrijving is dan de theorie. Is deze theorie juist, dan bestaat tussen het bestudeerde cognitieve systeem en het computermodel het volgende verband: het zijn allebei realisaties van dezelfde theorie. Ze hoeven dus geenszins identiek te zijn.

Een theorie moet het mogelijk maken te redeneren over aspecten van de werkelijkheid. Idealiter mag bij dit redeneren (beter gezegd: deduceren) niets aan toeval of willekeur worden overgelaten. Dit vereist formalisatie (pijl 3) van de theorie in een formeel model dat de toegestane redeneerstappen exact vastlegt. Het is heel gemakkelijk de noties formeel model en computermodel met elkaar te verwarren, vooral ook omdat van een formeel model weer een computerimplementatie vervaardigd kan worden. Toch is er een duidelijk verschil: een computerimplementatie van een formeel model brengt proposities voort over het bestudeerde cognitieve gedrag, terwijl een computermodel in eerdergenoemde zin dat cognitieve gedrag zelf voortbrengt (tot op zekere hoogte).

Het formele model leidt tot empirisch toetsbare hypothesen (pijl 4). De toetsingsresultaten vormen nieuwe observaties die al dan niet passen binnen de tot dusver ontwikkelde theorie. In het laatste geval zal het nodig zijn cyclus 1 t/m 5 opnieuw te doorlopen. De geldigheid van het formele model kan ook onderzocht worden in meer praktische situaties (pijlen 6 en 7). De overige pijlen in fig. 2 geven tenslotte aan dat computermodel en theorie op "informele" wijze suggesties kunnen opleveren voor empirisch (2a en 3a) en toegepast (2b en 3b) werk. In de alledaagse onderzoekspraktijk worden deze wegen vaker bewandeld dan de officiële (4 en 6), ook door hen die het AI-paradigma beoefenen.

5. VOOR- EN NADELEN VAN COMPUTERMODELLEN

Het AI-paradigma onderscheidt zich van andere vormen van cognitief-psychologisch onderzoek door de toevoeging van één extra stap: het bouwen van een computermodel voor het bestudeerde gedrag met behulp van kennistechnologische methoden. Deze stap kan de kwaliteit en het tempo van de theorievorming gunstig beïnvloeden indien aan het onderzochte gedrag een complex kennisbestand in de zin van par. 2 ten grondslag ligt; d.w.z. indien de theorie wisselwerkingen zal moeten beschrijven tussen grote aantallen rijk gestructureerde en tevens heterogene componenten. Computersimulatie kan er toe bijdragen dat inconsistenties die de - noodzakelijkerwijs ingewikkelde - theorie dreigen binnen te sluipen, op tijd worden ontmaskerd. Ook brengen ze onvolledigheden aan het licht - onmisbare componenten die aan de aandacht van de theoreticus zijn ontsnapt. Deze twee voordelen hebben betrekking op intensionele toetsing. Een computermodel vergemakkelijkt daarnaast ook extensionele toetsing van de theorie. Aan elke theorie moet de elementaire eis gesteld worden dat zij alle voorbeelden van het onderzochte gedrag kan verantwoorden. Neem bijv. een theorie over de cognitieve processen die sprekers van het Nederlands doorlopen wanneer ze gedrukte woorden hardop voorlezen. Deze theorie zal onder meer voorspellen dat in de zeslettergrepige woorden winterconferentie en psychonomiehandboek de zwaarste klemtoon zal liggen op respectievelijk de eerste en de vierde lettergreep. Met behulp van een computermodel kan snel worden geverifieerd of de theorie dit specimen van hardop-leesgedrag dekt.

Twee verdere voordelen hangen samen met pijlen 2a en 2b van fig. 2. De ontwerper van een computermodel bakent expliciet of impliciet een domein van gedragingen af die hij door de machine wil laten nabootsen. Zodra hij - na uitvoerige intensionele en extensionele toetsingen - zijn model tot ieders tevredenheid heeft afgerond, beschikt hij over een produkt met een niet te verwaarlozen surpluswaarde. Ten eerste kan hij het model "loslaten" op aanverwante gedragsvormen die buiten het domein liggen dat hem aanvankelijk voor ogen stond. Deze gedragingen zullen in eerste aanleg niet goed worden gesimuleerd. Aan de aard van de fouten zijn waarschijnlijk echter suggesties te ontlenu voor generalisaties (uitbreidingen) van het model, d.w.z.

voor ingrepen die leiden tot geslaagde simulaties van de nieuwe gedragsvormen onder handhaving van de kwaliteit van de oorspronkelijke simulatie. Aldus vormt het computermodel een rijke en makkelijk toegankelijke bron van hypothesen over mechanismen die ten grondslag liggen aan gedrag waarover nog relatief weinig bekend is. Ik zou dit de heuristische waarde van een computermodel willen noemen. In hoeverre de gesuggereerde hypothesen hout snijden moet natuurlijk in onafhankelijke experimenten worden onderzocht (pijl 2a). Ten tweede, een computermodel kan economische waarde vertegenwoordigen als hoogwaardig technologisch produkt, met name wanneer het taken kan verrichten die voordien nog niet gecomputeriseerd waren (pijl 2b). Zo is automatische klemtoentoekenning een onmisbaar onderdeel in een voorleesmachine die gedrukte tekst hardop kan uitspreken, bijv. voor blinden en slechtzienden. (Zulke machines zijn nu commercieel verkrijgbaar voor o.a. Engels, maar niet voor Nederlands.)

Het belangrijkste nadeel van het AI-paradigma is de kostbaarheid van computermodellen. Kostbaarheid niet alleen in financiële zin (vanwege de grote arbeids- en apparatuurintensiviteit), maar ook in wetenschapstheoretische zin. De kennistechnologie biedt de onderzoeker een zo krachtig en uitgebreid arsenaal van gereedschappen voor het bouwen van cognitieve systemen, dat hij gemakkelijk in de verleiding komt het criterium van zuinigheid en eenvoud uit het oog te verliezen. Theorieën die uit het AI-paradigma zijn voortgekomen - zo luidt een veelgehoorde klacht - lijden aan een overdaad van assumpties die schril afsteekt tegen de eenvoud en elegantie van theorieën uit met name de mathematische psychologie. Vergelijk bijv. het HAM-geheugenmodel van Anderson (1973) met het SAM-model van Raaijmakers en Shiffrin (1981). Ter verdediging van het AI-paradigma mag hierbij echter wel aangetekend worden dat de grotere complexiteit minstens ten dele voortvloeit uit een meer ambitieuze vraagstelling. Zo kunnen mathematisch-psychologische geheugenmodellen heel goed zijn in het voorspellen van percentages herinnerde of herkende woorden en van andere statistische geheugenmaten, ze hebben nochtans de grootste moeite te verklaren waarom proefpersonen op individuele woorden en woordcombinaties reageren zoals ze reageren. Bijvoorbeeld, hoe komt het dat een woordpaar als punaise-afsluitdijk zo gemakkelijk beklijft (althans in mijn geheugen) ondanks de geringe

associatiewaarde? De oplossing moet liggen in de kennis die wordt geactiveerd door deze woorden en andere in hun betekenis domein. Deze rijk gedifferentieerde woordgebonden kennis te representeren in een werkend geheugenmodel is waarlijk geen sinecure. De cognitief-psycholoog die hierin slaagt is op weg naar een theorie die niet alleen adequaat is in kwantitatieve (statistische) zin maar ook raad weet met individuele reacties van proefpersonen op individuele items.

6. EIGEN ERVARINGEN

Sinds ruim zeven jaar ben ik een actief beoefenaar van het AI-paradigma. Ik ben het geworden uit noodzaak - hoewel niet met tegenzin, want ik was nogal gecharmeerd van wat er op Artificiële-Intelligentiegebied te koop was. Ik wilde me een helder beeld vormen van de zinsbouwprocessen die zich afspelen in het hoofd van sprekers, een beeld van de lexicale, syntactische en morfologische mechanismen die ervoor zorgen dat mensen hun gedachten onder woorden kunnen brengen. Op het moment dat ik me op dit onderwerp stortte (1974) bevond het zich in vrijwel onontgonnen gebied. Sterker nog, het gebied was na enkele verkenningen rond de eeuwwisseling eigenlijk in vergetelheid geraakt. Vanuit onderzoekstrategisch oogpunt was dit een voordeel: ik liep betrekkelijk weinig kans achter snelle ontwikkelingen in goed geoutilleerde buitenlandse laboratoria aan te moeten hollen. Dit gaf me de ruimte het probleem grondig aan te pakken.

Ik was de overtuiging toegedaan dat zinsbouwprocessen dermate complex zijn dat zonder het hulpmiddel van computersimulatie er onmogelijk een redelijk nauwkeurige en volledige theorie over zou kunnen ontstaan. Dit stelde me voor het probleem een programma te schrijven dat (Nederlandse) zinnen moest kunnen construeren, gegeven de specificatie van een uit te drukken betekenisinhoud. De werking van dit programma zou maximaal dienen overeen te stemmen met de werking van menselijke zinsbouwmechanismen ("psychologische plausibiliteit"). Nu was er over dit laatste niet zoveel met zekerheid bekend. Toch bleek aanvankelijk zelfs dit weinige moeilijk verenigbaar met de even voor de hand liggende eis van linguïstische plausibiliteit. Begin 1976 ben ik met het karwei begonnen;

pas jaren later was het geklaard. Zoveel tijd was nodig om een psychologisch én linguïstisch bevredigend zinsbouwprogramma te ontwikkelen. (Op dit moment zou een vergelijkbare onderneming overigens veel minder inspanning vergen omdat we nu beschikken over betere apparatuur en programmatuur voor kennistechnologisch werk, en over beter opgeleide en meer ervaren medewerkers.) De uit dit systeem geabstraheerde theorie, die inmiddels Incrementeel-Procedurele Grammatica (IPG) is gedoopt, staat beschreven in Kempen en Hoenkamp (gaat verschijnen). Het systeem zelf, dat Fraseomaat heet, werd geprogrammeerd in Lisp en draait op een VAX11/780-computer. Met formalisering van de theorie is een begin gemaakt door Hoenkamp (1983).

In hoeverre wordt de IPG ondersteund door empirische evidentie? Ik kan hier natuurlijk wijzen op de psychologische en linguïstische observaties die ten grondslag lagen aan het ontwerp van de theorie, maar interessanter zijn de voorspellingen die de IPG doet. Deze hebben onder meer betrekking op de tijd die sprekers nodig hebben om de precieze vorm van een taaluiting te berekenen. Taaluitingen die kunnen worden "berekend" in een kleiner aantal stappen zullen sneller gereed zijn dan uitingen die meer stappen vergen - mits die stappen volgtijdelijk (en dus niet gelijktijdig) plaatsvinden. Ter toetsing van dit type voorspellingen hebben we een vrij groot aantal zgn. plaatjesbeschrijvingsexperimenten gedaan. In een reactietijdenproefopzet moesten eenvoudige tekeningen beschreven worden die op een TV-scherm verschenen. De tijd die proefpersonen vervolgens nodig hadden tot het begin van de gesproken beschrijving werd gebruikt als graadmeter voor onderliggende zinsbouwprocessen. Met behulp van deze methode hebben we de aanname van "indirecte lexicalisatie" (voor elk woord in een zin moet de spreker tweemaal zijn mentale lexicon raadplegen) proefondervindelijk kunnen bevestigen (Kempen en Huijbers, 1983). Pogingen om in aldus gemeten reactietijden de uitvoering door de spreker van bepaalde syntactische IPG-regels terug te vinden zijn echter deerlijk mislukt (zie Van Wijk en Kempen, 1982, voor het relaas). Dit teleurstellende resultaat hebben we deels aan de methode, deels aan de theorie toegeschreven. De methode wordt ongevoelig zodra de onderzochte processen gelijktijdig met andere processen worden uitgevoerd (parallele verwerking). In de theorie is het temporele verloop van de - talrijke - berekeningsprocessen nog lang niet nauwkeurig genoeg

uitgewerkt. We hebben daarom gezocht naar niet-tijdsafhankelijke gedragsparameters die inzicht kunnen verschaffen in het verloop van de syntactische planning van taaluitingen. Momenteel beproeven we een variant op de plaatjesbeschrijvingstaak die we "uitgelokte zelfcorrecties" genoemd hebben. Terwijl de proefpersoon bezig is de beschrijving uit te spreken, verandert er een aspect in het plaatje. Hij heeft tot taak de gewijzigde inhoud uit te drukken in de lopende zin. In vele gevallen zal hij daartoe de uiting moeten afbreken en geheel of gedeeltelijk hernemen en corrigeren.

De weergave van mijn ervaringen met het AI-paradigma klinkt tot nu toe waarschijnlijk niet bijster optimistisch. Toch is er alle reden om dit verslag in positieve zin af te sluiten. Zo is de IPG met succes aangewend ter verklaring van enkele uiteenlopende taalproductieverschijnselen, o.a. met betrekking tot het reproduceren van zinnen uit het korte-termijngeheugen (Levelt en Kelter, 1982) en het hanteren van het Duitse stelsel van naamvallen door Nederlandstaligen (Jordens, 1983). Daarnaast kan ik voorspoedige ontwikkelingen rapporteren in toegepaste richting. Het zinsbouwprogramma (de Fraseomaat) speelt een centrale rol in een extern gefinancierd project waarin we een systeem voor Nederlandstalige communicatie met een databank opzetten.

7. PERSPECTIEVEN

De computermodellen waaruit cognitief-psychologische theorieën voortkomen, lijden gewoonlijk aan het euvel van een onrealistische temporele organisatie van deelprocessen. In het voorafgaande heb ik dit probleem reeds meermalen gesignaleerd. De onderzoeker bevindt zich hierdoor in een lastig parket. De theorie doet geen sterke temporele voorspellingen en is daardoor immuun voor toetsing met behulp van temporele gedragsmaten - ongetwijfeld de verst ontwikkelde en meest populaire maten in de experimentele psychologie. Er lijkt echter een oplossing in het verschiet te liggen. In het kader van onderzoek over begrijpend lezen hebben Thibadeau, Just en Carpenter (1982) een soort machine-analogon van mentale verwerkingstijd ontworpen. Het computermodel dat ze hebben gebouwd leest en interpreteert

een tekst op een wijze die het mogelijk maakt de verbruikte verwerkingscapaciteit toe te rekenen naar de afzonderlijke tekstwoorden. Aldus kan voor elk gelezen woord de benodigde capaciteit worden vastgesteld. Daarnaast hebben ze dezelfde tekst voorgelegd aan een groep lezers en bij hen door middel van oogbewegingsmetingen de gemiddelde fixatieduur voor elk woord bepaald. De aldus gemeten oogfixatietijden bleken heel goed te correleren met de rekencapaciteit die het computermodel aan de afzonderlijke tekstwoorden had toegekend.

Voorbeelden als deze wettigen de verwachting dat het AI-paradigma theorieën kan voortbrengen die even gemakkelijk en stringent empirisch toetsbaar zijn als die welke uit de analytische stijl van theorievorming ontstaan. De cognitieve psychologie zal het AI-paradigma, hoe duur en tijdrovend ook, niet kunnen en willen ontberen.

8. LITERATUUR

Anderson, J. en G. Bower, *Human associative memory*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum, 1973.

Bobrow, D.G. en A. Collins (eds.), *Representation and understanding*. Studies in cognitive science. New York: Academic, 1975.

Groot, A.D. de, *Methologie*. Den Haag: Mouton, 1961.

Hoenkamp, E., *Een computermodel van de spreker: psychologische en linguïstische aspecten*. Dissertatie, K.U. Nijmegen, 1983.

Jordens, P., *Das deutsche Kasusystem im Fremdsprachenerwerb. Eine psycholinguïstische und fehleranalytische Untersuchung zum intersprachlichen Kasusmarkierungssystem niederländisch- und englischsprachiger Deutschstudenten*. Tübingen: Narr, 1983.

Kempen, G. en E. Hoenkamp, *An incremental procedural grammar for sentence formulation*. *Cognitive Science* (gaat verschijnen).

Kempen, G. en P. Huijbers, *The lexicalization process in sentence production and naming: indirect election of words*. *Cognition*, 1983, 14, 185-209.

Levelt, W.J.M. en S. Kelter, *Surface form and memory in question answering*. *Cognitive Psychology*, 1982, 14, 78-106.

Pylyshyn, Z., *Computation and cognition: issues in the foundations of cognitive science*. *Behavioral and Brain Sciences*, 1980, 3, 111-169.

Raaijmakers, J. en R. Shiffrin, Search of associative memory. *Psychological Review*, 1981, 88, 93-134.

Roskam, E., Hypotheses non fingo. Een methodologische gevalstudie over onderzoek van intelligentietests. *Nederlands Tijdschrift voor de Psychologie*, 1982, 37, 331-359.

Thibadeau, R., M. Just en P. Carpenter, A model of the time course and content of reading. *Cognitive Science*, 1982, 6, 157-203.

Wijk, C. van en G. Kempen, Kost zinsbouw echt tijd? In: R. Stuip en W. Zwanenburg (eds.), *Handelingen van het 37ste Nederlands Filologencongres*. Amsterdam: APA-Holland Universiteits Pers, 1982.