

COLIN BROWN, PETER HAGOORT EN THEO MEIJERING (RED.)

Vensters op de geest

Cognitie op het snijvlak van filosofie en psychologie

De Grafietreeks staat onder redactie van Aad Blok, Colin Brown, Radboud Engbersen, Peter Hagoort, Sjaak Koenis, Theo Meijering, Jannetje Plantenga, Lies Wesseling, Pauline Westerman

De LAT-relatie tussen lichaam en geest

Over de implicaties van neurowetenschap voor onze
kennis van cognitie

Aan de relatie tussen lichaam en geest zijn minstens een tweetal aspecten te onderscheiden. Het eerste aspect betreft hun zijnsverhouding, het tweede hun kenverhouding. De beide aspecten laten zich verkavelen volgens het gangbare filosofische onderscheid tussen ontologie (zijnsleer) en epistemologie (kenleer). De ontologie draagt gedachten aan over de werkelijkheid zoals deze 'in het echt' is, ongeacht de vraag of en hoe we daarover kennis kunnen verwerven. De voorwaarden waaronder wij kennis omtrent de werkelijkheid kunnen verkrijgen en rechtvaardigen staan daarentegen centraal in de epistemologie.

Bij de zijnsverhouding tussen lichaam en geest draait het om de vraag hoe deze beide entiteiten zich in werkelijkheid tot elkaar verhouden, onafhankelijk van de wijze waarop onze kennis daarover tot stand komt. De liefhebbers van een gecompliceerde zijnsverhouding tussen lichaam en geest vindt men onder de aanhangers van het ontologisch dualisme. Deze nemen aan dat lichaam en geest uit verschillende substanties bestaan. Het lichaam zou uit materie en de geest uit een onstoffelijke substantie zijn opgebouwd. Het problematische van deze visie blijkt uit de gedachtenkronkels die vereist zijn om de causale interacties tussen lichaam en geest te verklaren. Hoe moeten wij ons bijvoorbeeld voorstellen dat de onstoffelijke geest het besluit mij van A naar B te bewegen aan mijn materiële lichaam 'meedeelt', zodat de vereiste bewegingen uitgevoerd worden? Sinds Descartes hebben verschillende ideeën over de wijze waarop de zo verschillende substanties met elkaar in wisselwerking treden niet tot een bevredigende oplossing van dit probleem geleid. Afgezien van een enkeling (onder andere Sir John Eccles) kan deze dualistische zijnsopvatting vandaag de dag nog maar weinig neurowetenschappers, psychologen en filosofen bekoren.

De aanhangers van het materialisme hebben het in dit opzicht aanzienlijk gemakkelijker. Voor hen zijn zowel lichaam als geest mate-

rieeel van aard. Mentale processen zijn causaal afhankelijk van fysische processen. Mentale toestanden zijn specifieke constellaties van fysische toestanden. Voor de materialist geldt dus in de puntige formulering van Moleschott: "Zonder fosfor geen gedachten". Aangaande de zijnsverhouding tussen lichaam en geest, is de materialistische ontologie vandaag de dag de standaardopvatting.

Het tweede aspect van de lichaam-geest relatie betreft hun kenverhouding. Het gaat daarbij om de vraag op welke wijze onze kennis over het lichaam en onze kennis over de geest op elkaar betrokken zijn. Voor de materialist is de volgende redenering voor de hand liggend: aangezien lichaam en geest uit dezelfde substantie (i.c. fysische materie) zijn opgebouwd, moeten uiteindelijk de termen waarin beide beschreven en verklaard worden ook gelijk zijn. Met andere woorden, de theorieën over de geest zijn uiteindelijk reduceerbaar tot fysische (fysiologische) theorieën, die immers de wetten der materiële werkelijkheid beschrijven. Eenheid van materie suggereert de principiële mogelijkheid van eenheid van wetenschap. Een materialistische ontologie en een reductionistische epistemologie lijken voor de hand liggende partners. Daartegenover zullen wij juist betogen dat de kenverhouding tussen lichaam en geest aanmerkelijk complexer is dan in een naïeve vorm van reductionisme wordt verondersteld. De positie die wij daarbij verdedigen is dat aangaande de lichaam-geest relatie een materialistische ontologie en een epistemologisch dualisme uitstekend samengaan. In het epistemologisch dualisme wordt ervan uitgegaan dat ter verkrijging van kennis over lichaam en geest twee zelfstandige niveaus van beschrijving en verklaring vereist zijn die zich niet tot elkaar laten reduceren. Dit impliceert onder meer dat kennis over het lichaam niet automatisch en zonder meer leidt tot kennis over de geest. 'Toon mij uw lichaam en ik zal zeggen hoe uw geest eruit ziet', drukt een visie uit die met name op epistemologische gronden moet worden afgewezen.

Hersenen en cognitie

Sinds de antieke oudheid leeft het idee dat de hersenen het orgaan zijn dat de geest herbergt. Zo schreef Hippocrates:¹

De mens behoort te weten dat niets anders dan de hersenen de oorsprong zijn van vreugde, vertwijfeling en geweeeklaag ... en dat we daarmee op een speciale wijze wijsheid en kennis verkrijgen, en zien en horen ...

Tegenwoordig wordt algemeen aanvaard dat het centrale zenuwstelsel de locus is van het samenstel van cognitieve functies waaruit de menselijke geest bestaat. De vraag naar de relatie tussen lichaam en geest

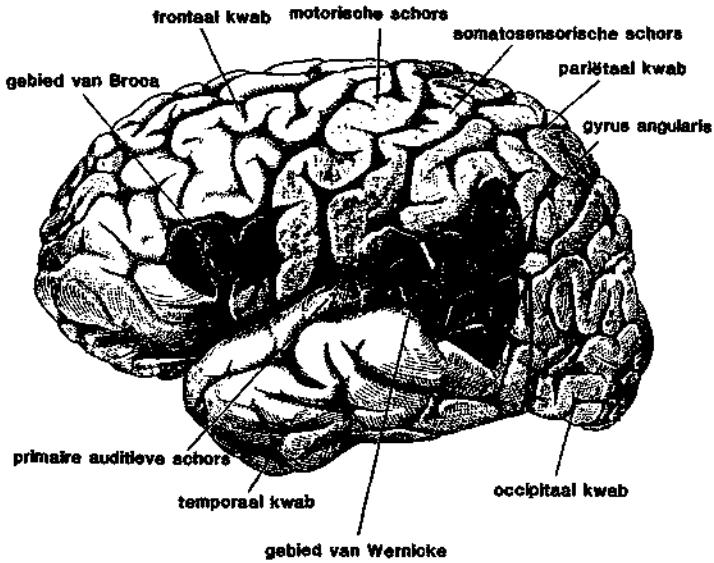
laat zich dan ook beter formuleren als die naar de samenhang tussen hersenen en cognitie. Vanuit de materialistische opvatting dat de menselijke geest causaal afhankelijk is van de hersenen, lijkt het op het eerste gezicht aannemelijk dat kennis over het brein rechtstreeks en onverkort implicaties heeft voor en bijdraagt aan onze kennis over de cognitieve functies, waarvoor immers onze hersenen verantwoordelijk zijn. Op basis van deze redenering menen veel neurowetenschappers dan ook dat hun onderzoek over structuur en werking van de hersenen welhaast per definitie bijdraagt aan onze kennis over hogere cognitieve functies zoals visuele waarneming, het spreken en begrijpen van taal, het denken en het oplossen van problemen, etc. Bij nader inzien echter blijkt uit de praktijk van het neurocognitief onderzoek dat de kenverhouding tussen de hersenen en deze cognitieve functies aanmerkelijk complexer en problematischer is. Wij beogen in het navolgende met name de vraag te beantwoorden of, en zo ja hoe kennis van het brein bijdraagt aan kennis van de geest. 'Werkende weg' zal daarbij de wenselijkheid van een epistemologisch dualisme tussen de neurowetenschappen en de cognitieve psychologie worden aangegeven.

Neuropsychologie en psychofysiologie

In het empirisch onderzoek naar menselijke cognitie wordt op minstens een tweetal terreinen van psychologisch onderzoek expliciet gebruik gemaakt van neuro-anatomische en neurofysiologische kennis. Het ene terrein is dat van de neuropsychologie, het andere dat van de psychofysiologie.²

In de hedendaagse cognitieve neuropsychologie wordt de Franse neuroloog Paul Broca als de belangrijkste 'founding father' beschouwd. In de zestiger jaren van de 19e eeuw overtuigde Broca de medische wereld ervan dat een hersenbeschadiging in de derde winding van de frontaalkwab tot uitvalsverschijnselen bij het produceren van taal leidde. Op basis van die bevinding localiseerde hij het menselijke vermogen tot spreken (*la faculté du langage articulé*) in deze winding, die thans bekend staat als het gebied van Broca (zie figuur 1).

In de cognitieve neuropsychologie worden hersenbeschadigingen als experimenten van de natuur opgevat waaruit op indirecte wijze inzicht verkregen kan worden over het intacte brein en de intacte geest. Op basis van de plaats en de aard van de hersenbeschadiging en de specifieke cognitieve uitvalsverschijnselen waartoe deze leiden, poogt men conclusies te trekken over de organisatie van zowel het intacte brein als het intacte cognitieve apparaat, en over de wijze waarop beide samenhangen. In dit vakgebied staat de relatie tussen de hersenen en onze mentale functies dus centraal. Het lichaam-geest probleem ligt in de neuropsychologie daarmee in volle omvang op de snijtafel



Figuur 1: Zijanzicht van de linker hersenhelft.

Aangegeven zijn o.a. de 4 hersenkwabben en de belangrijkste bij taal betrokken hersengebieden (het gebied van Broca en het gebied van Wernicke). (Naar Geschwind, *Scientific American* 241, September 1979).

der empirie, niet echter zonder dat daarbij impliciet dan wel expliciet aannames over de relatie lichaam-geest gemaakt worden. Een nadere beschouwing van het neuropsychologisch onderzoek kan derhalve bijdragen aan het beantwoorden van twee complementaire vragen. De eerste vraag is die naar de beperkingen waaraan het op elkaar betrekken van de kennis over onze hersenen en over de daarin geïmplementeerde cognitieve functies onderhevig is. De tweede vraag betreft de mogelijkheden om via kennis over het brein onze kennis van de geest te vergroten.

Behalve de neuropsychologie is de psychofysiologie met het oog op de lichaam-geest relatie een centraal terrein van psychologisch onderzoek. In de psychofysiologie wordt onder andere de activiteit van het centrale zenuwstelsel gecorreleerd aan daarmee samenhangende mentale processen. Met name dankzij de enorme technologische ontwikkelingen in de laatste twee decennia is grote vooruitgang geboekt in het registreren van de hersenactiviteit die optreedt tijdens hogere cognitieve processen, zoals het waarnemen van objecten, het voorbereiden en uitvoeren van bewegingen, het spreken en verstaan van taal, etc. Voorbeelden daarvan zijn de registratie van de stofwisseling van hersencellen met behulp van de positronen-emissie-tomografie (PET) en de registratie van de elektrische en recentelijk ook electromagnetische activiteit die in de hersenen optreedt in samenhang met cognitieve processen (ERPs: Event Related Potentials; MEG: Magneto-Encefalografie). In snel tempo is daardoor aan het scala van gedragsmaten (o.a. reactietijdmeting) in de laatste jaren een aantal experimentele maten toegevoegd die op basis van de neurofysiologische correlaten van cognitieve processen kunnen dienen "as windows on the mind and as windows on the brain".³

In het onderstaande zullen van beide typen onderzoek enkele voorbeelden gegeven worden, afgerond met een beschouwing over de mogelijkheden en onmogelijkheden om via de vensters op het brein de vensters op de geest te openen.

Van hersenbeschadiging naar mentale functie

Professor N, bekend in de wetenschappelijke wereld en tevens actief op het vaderlandse politieke toneel, werd tijdens het uitoefenen van zijn grootste hobby, het orgelspel, getroffen door een beroerte. Daartbij werd in zijn geval de bloedtoevoer naar een deel van de frontaalkwab en de temporaalkwab in de linker hersenhelft onderbroken, waardoor het hersenweefsel op die plaatsen afstierf. Behalve een verlamming van rechter arm en been, had dit een ernstige achteruitgang in zijn vermogen tot spreken en in mindere mate tot begrijpen van taal ten gevolge. Afasie is de verzamelnaam voor het scala aan stoornissen in

ons taalvermogen die kunnen optreden als gevolg van een hersenbeschadiging. Gevraagd naar het verloop van de afasie onmiddellijk na het herseninfarct, antwoordde N als volgt:

augustus bloeding ... november ietsje vertellen ... ja mondje houden, maar innerlijk hè ... januari stukje beter ... behoorlijk herinneren enzovoort ... maar spreken moeilijk ... januari bijvoorbeeld twee woorden, meer niet ... eh 'koffie' en 'thee' en verder niet ... maart stukje meer, tien woorden ... dus 'eten' en 'drinken' enzovoort ... mei een stukje verder meer ... honderd woorden ... nu vijfde jaar redelijk gesprekken volgen.

Kenmerkend voor het type afasie waaraan professor N lijdt, is de telegramstijl van spreken. Dit houdt in dat de zinnen kort zijn, functiewoorden zoals lidwoorden en voorzetsels grotendeels worden weggelaten en verbuigingen van werkwoorden ontbreken. Deze constellatie van symptomen duidt op een stoornis in de vorming van volledige, syntactisch welgevormde zinnen.⁴ Functiewoorden en vervoegingen van werkwoorden spelen een wezenlijke rol bij het aanleggen van een structureel verband tussen de afzonderlijke woorden in een zin. In tegenstelling tot de inhoudswoorden (werkwoorden, zelfstandige naamwoorden) verwijzen zij niet of nauwelijks naar objecten of standen van zaken in de wereld. Behalve woorden met elkaar samenvoegen volgens de regels van de grammatica, moet de spreker de juiste woorden uit het mentale lexicon ophalen, de daarbij behorende klankvormen activeren en deze in articulatoire bewegingen omzetten. Afasie kan leiden tot stoornissen op elk van deze verschillende niveaus van taalverwerking.

De problemen die kunnen optreden bij het activeren van de juiste woordbetekenissen, worden geïllustreerd door patiënte W. De opdracht een plaatje te beschrijven waarop een man was afgebeeld die de krant zat te lezen, leidde in haar geval tot de volgende beschrijving: "Hij leest de radio". Hoewel de zin grammaticaal welgevormd is, drukt deze niet uit wat de patiënte wil zeggen. De oorzaak daarvan is dat zij het woord dat bij het concept 'krant' hoort niet langer op efficiënte wijze uit het geheugen kan ophalen. Zowel het produceren als het begrijpen van taal vereisen dat de taalgebruiker verschillende vormen van kennis (syntactische, semantische, fonologische) gerepresenteerd heeft en deze tijdens het proces van spreken en verstaan op het juiste moment kan gebruiken. In de psycholinguïstiek wordt getracht de functionele architectuur van het complexe proces van spreken en verstaan in kaart te brengen.

Bovenstaande voorbeelden illustreren dat zowel het produceren als het begrijpen van taal opgedeeld zijn in een aantal specifieke, min of meer zelfstandige deelprocessen. Dit betekent dat voor uitspraken over de relatie tussen hersengebied X en cognitieve functie Y (zoals

ons taalvermogen) een uitgewerkt model van cognitieve functie Y vereist is. In een dergelijk model wordt gespecificeerd uit welke deelprocessen deze cognitieve functie is samengesteld en hoe deze daarbij samenwerken. Zonder zo'n functioneel model kan neuro-anatomische kennis tot niet veel meer leiden dan de weinig zinvolle uitspraken dat hersengebied X betrokken is bij taal en hersengebied Z bij visuele waarneming, waarbij taal en waarneming in dat geval verwijzen naar de voorwetenschappelijke noties die omtrent deze cognitieve functies in omloop zijn. Zelfs in het onwaarschijnlijke geval dat de neurowetenschappen een compleet schema zouden leveren van alle bij taalverwerking betrokken celgroepen en projectiebanen, laat dit het schema van de functionele architectuur van de menselijke taalverwerker oningevuld. Theoretische modellen in de taalkunde en de psycholinguïstiek definiëren de entiteiten (bijvoorbeeld woordbetekenis, woordklank, syntaxis, etc.) die een rol spelen in het menselijk taalvermogen. Deze bepalen vervolgens de zoektocht naar de hersenstructuren en -processen die met de 'natural kinds' van de taalkunde en de psycholinguïstiek corresponderen. Uitspraken over hoe geest en hersenen met elkaar samenhangen vooronderstellen dus dat er zowel een theorie van de geest als een theorie van de hersenen is. Het lichaam-geest probleem laat zich niet oplossen door het functionele verklaringsniveau eigen aan theorieën over cognitie te elimineren. Ook al verdedigen eliminatief materialisten en sommige connectionisten dat een functioneel verklaringsniveau niet vereist is,⁵ in de praktijk van het cognitieve-wetenschappelijk onderzoek ontbreken desalniettemin tot op heden louter neurofysiologische verklaringen voor hogere mentale processen.

Kernaannames van de cognitieve neuropsychologie

De belangrijkste wetenschappelijke doelstelling van de cognitieve neuropsychologie is niet verklaringen in cognitief-psychologische termen te reduceren tot verklaringen in termen ontleend aan de neurowetenschappen, maar wel op basis van de uitvalsverschijnselen die patiënten met een hersenbeschadiging vertonen, conclusies te trekken over de functionele architectuur van de desbetreffende cognitieve functie in het intacte brein. Impliciet dan wel expliciet worden daarbij een aantal aannames gemaakt die essentieel zijn voor de haalbaarheid van deze doelstelling.

Een kernaanname is dat er een correspondentie bestaat tussen de organisatie van de geest en de organisatie van het brein. Deze assumptie is minder vanzelfsprekend dan zij op het eerste oog lijkt. Functionalisten zoals Fodor (1975) en Putnam (1975) argumenteren dat de wijze waarop God of de Natuur ons cognitieve apparaat heeft georganiseerd niet noodzakelijk op zinvolle wijze correspondeert met de manier waarop het centrale zenuwstelsel in elkaar gestoken is. Evermin als de

organisatie van het geldverkeer correspondeert met de structuur van het materiële substraat waaruit het geld bestaat (munt, cheque), of een computerprogramma zinvol beschreven kan worden in termen van de hardware-configuratie, geldt dat er op a priori gronden een zinvolle correspondentierelatie tussen hersenen en geest moet worden aangenomen.

Indien we er desalniettemin van uitgaan dat de vereiste correspondentie bestaat, dan is daarmee vervolgens nog verre van duidelijk wat de aard van de correspondentierelatie is. Impliciet wordt door de meeste neuropsychologen aangenomen dat er van een één-op-één relatie (type-correspondentie) tussen hersenstructuren en cognitieve functies sprake is.⁶ Dit is echter slechts een van meerdere mogelijkheden. Zeer wel denkbaar is dat een bepaalde component van een functioneel systeem (bijvoorbeeld kleurwaarneming) verzorgd wordt door een samenstel van diverse hersenstructuren of dat omgekeerd dezelfde hersenstructuur het substraat vormt van diverse cognitieve componenten. Indien de werkelijke correspondentie complexer blijkt te zijn dan de meestal veronderstelde type-correspondentie, zal dit het neuropsychologisch onderzoek navenant bemoeilijken. Of de aanname van isomorfie in de vorm van een type-correspondentie tussen hersentoestanden en mentale toestanden gerechtvaardigd is, kan echter niet op voorhand worden vastgesteld maar zal moeten blijken uit de mate waarin het neuropsychologisch onderzoek empirisch succesvol is.

Een volgend probleem dat zich voordoet is te bepalen welke elementen op het niveau van de cognitie corresponderen met welke elementen op het niveau van het neurofysiologisch substraat. In het brein kunnen we van de kleinste elementen zoals de synapsen en afzonderlijke neuronen, via netwerken van met elkaar verbonden neuronen, cellagen in de cortex, de op basis van celstructuur gedefinieerde gebieden van Brodmann, de macroscopisch onderscheiden windingen en kwabben tot en met de meest grofmazige onderverdeling in de twee hersenhelften opstijgen. Op het niveau van bijvoorbeeld het taalverwerkingsstelsel is er een verschil in aggregatieniveau tussen enerzijds elementen als afzonderlijke fonemen of syntactische regels en anderzijds de grammatica of het mentale lexicon. Het is vooralsnog onopgehelderd welke elementen op beide niveaus het meest geëigend zijn voor het correleren van hersentoestanden aan toestanden van het cognitief systeem.

Indien we er voor het gemak voorlopig van uitgaan dat de aanname van isomorfie gerechtvaardigd is en dat we bovendien kunnen achterhalen wat het meest geëigende niveau van correspondentie tussen hersenen en cognitie is, dan hangt vervolgens het verwerven van kennis over de geest via de omweg van het brein ook nog af van de houdbaarheid van enkele additionele aannames die in het neuropsychologisch onderzoek gemaakt worden. Deze aannames betreffen de

consequenties van hersenbeschadigingen voor de organisatie van het cognitieve systeem.⁷

Een eerste aanname staat bekend als de *subtractie-aanname*.⁸ Het trekken van zinvolle conclusies over de intacte geest op basis van de functionele consequenties van een hersenbeschadiging is alleen dan mogelijk indien de hersenbeschadiging niet leidt tot een reorganisatie van het brein en diensengevolge van het cognitief systeem. In andere woorden, de diverse mentale processen maken gebruik van dezelfde structuren als voorheen, met uitzondering van de door de hersenbeschadiging geheel of gedeeltelijk uitgevallen component van het functionele systeem. Het volwassen brein is, naar men daarbij dus aanneemt, na een hersenbeschadiging niet in staat nieuwe cognitieve structuren te ontwikkelen. In het licht van onze huidige neurowetenschappelijke kennis is er vooralsnog geen reden om aan de geldigheid van deze aanname te twijfelen. Het relatieve onvermogen van de hersenen op een aanval te antwoorden met een 'flexible response', maakt dat de relatie tussen de symptomen van de pathologie en de werking van het intacte systeem in principe betrekkelijk transparant is. In de praktijk is het met deze transparantie meestal een stuk slechter gesteld. Patiënten met een hersenbeschadiging reageren niet louter passief op hun cognitieve uitvalsverschijnselen, maar ontwikkelen allerhande aanpassingsmechanismen om gegeven hun handicap alsnog zo optimaal mogelijk te functioneren. Om vanuit de symptomen conclusies te kunnen trekken over het intacte systeem, moet men deze eerst hebben uitgesplitst in symptomen die een rechtstreeks gevolg zijn van de hersenbeschadiging en symptomen die samenhangen met actieve gedragsveranderingen met het doel zo veel mogelijk compensatie voor de uitval te bewerkstelligen.

Een tweede belangrijke aanname is dat de hersenbeschadiging kan leiden tot een selectieve uitval van een functioneel gedefinieerde component binnen het totale cognitieve systeem.⁹ Dit vereist dat complexe cognitieve functies (bijvoorbeeld visuele waarneming of lezen) kunnen worden opgedeeld in een aantal tamelijk onafhankelijke componenten en dat deze functionele onderverdeling door de organisatie van het brein wordt gehonoreerd. Zonder noodzakelijk aan alle door Fodor opgestelde criteria voor modulariteit te moeten voldoen, is duidelijk dat deze zogenaamde *fractioneringsaanname* een bepaalde vorm van modulariteit van geest en hersenen vooronderstelt. Het mag dan ook geen verwondering wekken dat Fodor's modulariteitstheorie met name binnen de cognitieve neuropsychologie een warm onthaal heeft gekregen. Karl Lashley's theorie dat op basis van de *law of mass action* de hersenen equipotentieel zijn voor cognitieve functies daarentegen, voorspelt dat de plaats van de hersenbeschadiging geen selectief effect kan hebben op de functionele uitval. Immers, volgens een dergelijke opvatting zijn de verschillende cognitieve functies binnen de hersenen

niet nader localiseerbaar. De fractioneringsaanname kan in dat geval niet gemaakt worden. Gelukkig voor de neuropsychologie is er inmiddels voldoende empirische evidentie om Lashley's theorie te verwerpen. Deze telt onder neurowetenschappers dan ook geen serieuze aanhangers meer.

Dit wil echter niet zeggen dat de toepassing van de fractioneringsaanname in het neuropsychologisch onderzoek probleemloos is. Aangezien van een groot aantal componenten van de verschillende cognitieve functies niet bekend is welke precies omschreven hersenstructuren voor hun functioneren verantwoordelijk zijn, kan meestal niet worden vastgesteld of een hersenbeschadiging zich netjes houdt aan de 'ware' opdeling van het functionele systeem in de onderscheiden componenten. De beschadiging (laesie) ten gevolge van een herseninfarct en het daardoor veroorzaakte samenstel van symptomen is namelijk eerst en vooral een artefact van de bloedvoorziening van het brein.¹⁰ De wijze waarop de bloedvaten zich in het brein vertakken (de vascularisatie) verschaft ons geen betekenisvolle indeling van de diverse neurofysiologische systemen. In de praktijk komen derhalve als gevolg van een laesie vaak een reeks symptomen tezamen voor die echter niet als een beschadiging van een en hetzelfde onderliggende neurofysiologische en daarmee corresponderende functionele systeem mogen worden opgevat. Zoals uit de ziektegeschiedenis van professor N bleek, heeft hij ten gevolge van het infarct in zijn linker hersenhelft behalve moeilijkheden bij het maken van syntactisch welgevormde zinnen ook verlamningsverschijnselen in de tegenoverliggende lichaams helft. Een dergelijke associatie van symptomen treedt vaak op bij sprekers van telegramstijl. Niemand zal dit echter interpreteren als evidentie voor een cognitief systeem dat zowel de vorming van syntactisch welgevormde zinnen als de bewegingen van de tegenoverliggende arm en hand regelt; temeer daar vrij precies bekend is dat de motorische schors verantwoordelijk is voor beweging, en het gebied rond de groeve van Sylvius in de linker hersenhelft voor taal. Niet altijd is de situatie echter zo duidelijk. Behalve het vormen van volledige, syntactisch welgevormde zinnen heeft professor N ook problemen om zinnen te begrijpen en de juiste woorden te vinden om uit te drukken wat hij bedoelt. Is deze associatie van symptomen net zo willekeurig als de vorige, of hebben we hier te maken met het noodzakelijk samengaan van een aantal symptomen, gegeven de structuur van het taalsysteem en dat van zijn neurofysiologisch substraat? Op grond van de huidige tamelijk beperkte kennis over de aan de componenten van het taalsysteem ten grondslag liggende hersenstructuren kan die vraag niet beantwoord worden. Het is dus vooralsnog niet uit te maken of deze associatie van symptomen een artefact is van de vascularisatie van het taalgebied in de hersenen, of op de selectieve uitval van één enkele component van het taalsysteem duidt. Deze component zou in

dat geval zowel betrokken zijn bij de vorming en ontleding van syntactisch welgevormde zinnen, als bij het ophalen van woorden uit het mentale lexicon. Deze moeilijkheid om bij een samenstel van symptomen uit te maken welke noodzakelijk en welke op 'oneigenlijke' gronden samen voorkomen, maakt dat uitspraken over de functionele architectuur van een cognitieve functie op basis van *associaties van symptomen* slechts met de grootst mogelijke voorzichtigheid gedaan kunnen worden.

Dissociaties van symptomen

Om bovengenoemde redenen spelen dissociaties van symptomen in het neuropsychologisch onderzoek een veel belangrijker rol. Indien de hersenbeschadiging leidt tot achteruitgang van functie A maar niet van functie B, is dat evidentie voor de onafhankelijkheid van de gedissocieerde componenten van het cognitief systeem. Zo zijn er patiënten die een ernstige achteruitgang vertonen in het lezen van woorden, maar bekende gezichten feilloos herkennen. Eveneens zijn patiënten beschreven met een stoornis in het herkennen van bekende gezichten (prosopagnosie) zonder dat zij problemen hebben met het lezen van woorden. In dit geval is sprake van een dubbele dissociatie tussen het herkennen van gezichten en het herkennen van geschreven woorden. Uit een dergelijke bevinding wordt geconcludeerd dat het samenstel van cognitieve processen dat verantwoordelijk is voor gezichtswaarneming niet identiek is aan dat voor het herkennen van woorden. Het herkennen van gezichten blijkt overigens ook dissocieerbaar te zijn van het herkennen van andere klassen van visuele stimuli, zoals objecten. Dit duidt erop dat gezichtsherkenning een zeer specifieke cognitieve vaardigheid is, hetgeen als zodanig uiteindelijk verantwoord moet worden in een functioneel model van de menselijke geest.

Dat het lezen van woorden en het herkennen van gezichten nogal diverse en onafhankelijke cognitieve functies zijn, zal wellicht niet verbazen. Echter ook binnen functies die zich introspectief als een eenheid manifesteren, blijken opmerkelijke dissociaties te kunnen optreden. Een vallende rode appel of een in wit shirt gestoken wielrenner nemen wij niet waar als een aaneenschakeling van kleur, vorm, beweging en plaats in de ruimte, maar als een geïntegreerd geheel van deze verschillende waarnemingsaspecten. Toch blijkt dat deze verschillende facetten van de visuele waarneming selectief gestoord kunnen zijn. Zihl, Von Cramon en Mai (1983) beschrijven een patiënte met een selectieve uitval voor de waarneming van beweging. Deze vrouw, LM, zag de wereld als een serie 'snapshots'. Allerlei problemen in het dagelijks leven waren daarvan het gevolg. Zo had ze grote moeite met het oversteken van de straat. Hoewel ze geen enkel probleem had de auto's op straat te identificeren, was ze niet in staat verplaatsing en snelheid

daarvan adequaat waar te nemen. Bij het inschenken van thee of koffie wist ze niet wanneer ze moest stoppen, omdat ze het niveau in het kopje niet zag stijgen. Conversatie met anderen werd bemoeilijkt omdat ze niet langer de beweging van gezicht en mond kon waarnemen. Met het identificeren van objecten, het waarnemen van hun kleur en positie in de ruimte had LM echter geen enkele moeite. Holmes (1919), daarentegen, beschrijft een aantal patiënten met een specifieke stoornis in het bepalen van de plaats van visueel waargenomen objecten. De beschrijving van Holmes geeft een goed beeld van de dramatische gevolgen van een dergelijk syndroom:¹¹

When he tried to take a piece of bread he brought his hand under the table rather than above it, and on attempting to seize the cup he found his fingers first in the tea, and, in his second attempt on a plate to one side of it. ... When I held up a pocket-knife in front of the man he said at once "That's a pocket-knife", but though his eyes were directed on it he stretched out his arm in a totally wrong direction when he was told to take hold of it.

Geblijnddoekt hadden deze patiënten geen enkele moeite naar iemand toe te lopen die hun naam riep. Dit geeft aan dat zij geen algemene stoornis hadden in het localiseren van objecten in de ruimte, maar dat deze stoornis specifiek verbonden was met de visuele waarneming.

Hoewel dergelijke dissociaties een indicatie zijn voor een modulaire organisatie van het visuele waarnemingsstelsel, is vooralsnog geen bevredigend functioneel model beschikbaar dat verklaart hoe de verschillende componenten voor de waarneming van kleur, beweging en locatie tot een geïntegreerd percept van Gert-Jan Theunisse op de flanken van de Alpe d'Huez leiden.

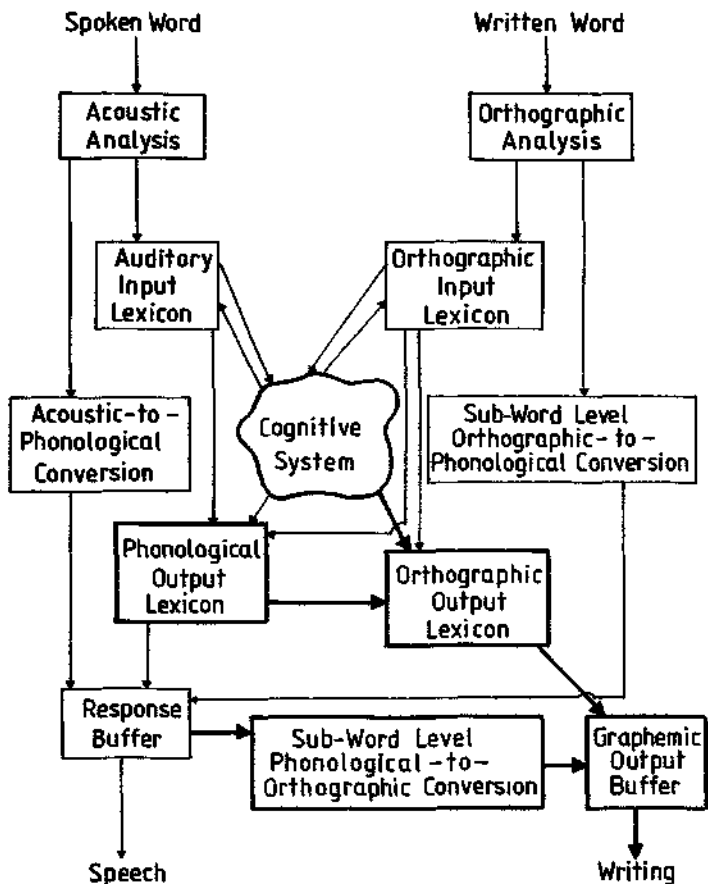
Een duidelijk voorbeeld van de consequenties die neuropsychologische bevindingen voor onze cognitieve modellen hebben, zijn de diverse, kwalitatief verschillende leesstoornissen (dyslexieën) die ten gevolge van een hersenbeschadiging kunnen optreden. Mede op basis van dergelijke evidentie kan men thans tamelijk complexe stroomdiagrammen in de literatuur aantreffen die het proces van lezen en schrijven van woorden in kaart brengen (zie figuur 2).

Zonder hier in detail in te gaan op wat de verschillende doosjes voorstellen, illustreert deze figuur dat het proces van lezen en schrijven opgebouwd is uit een aantal betrekkelijk onafhankelijke deelprocessen en informatiebronnen (zoals de verschillende lexica). De verschillende dissociatiepatronen tussen de afzonderlijke subcomponenten en hun verbindingen die het gevolg kunnen zijn van een hersenbeschadiging, hebben een belangrijke rol gespeeld bij het tot stand komen van een dergelijk soort diagram. Mede op basis van evidentie verkregen bij patiënten met een hersenletsel is een steeds specifiekere invulling gegeven aan de functionele architectuur van het cognitieve systeem voor

het herkennen en produceren van gesproken en geschreven woorden. Van vele dezer componenten en hun verbindingen zijn de neurale correlaten onbekend. Mede daarom is de preciese samenhang tussen hersenen en cognitie in veel gevallen duister. In de praktijk van de cognitieve neuropsychologie wordt dan ook meestal niet getheoretiseerd over de wijze waarop de diverse functionele modules van de geest in het brein zijn geïmplementeerd. Veeleer worden de soms bizarre experimenten die de natuur met onze hersenen uithaalt aangewend om onze kennis van de functionele architectuur van de geest te vergroten. Daarbij is de veelvuldigheid aan dissociatiepatronen die uit het totale bestand aan hersenbeschadigingen te voorschijn komt het meest informatief. Deze dissociaties zijn lang niet altijd alles-of-niets fenomenen. Vaker zien dissociaties eruit als een sterkere reductie in vaardigheid A dan in vaardigheid B. Om deze en andere redenen moet ook bij het interpreteren van dissociaties de nodige voorzichtigheid betracht worden.¹² Desalniettemin vormen dissociaties en dan met name de dubbele dissociaties de belangrijkste vorm van evidentie die de cognitieve neuropsychologie ons verschaft. Indien de in neuropsychologisch onderzoek gebruikelijke aannames over de relatie tussen hersenen en geest geldig zijn, dan zullen de functionele modellen van de geest dergelijke dissociaties moeten kunnen verklaren. Of de gemaakte aannames geldig zijn kan niet rechtstreeks worden vastgesteld op basis van cognitief neuropsychologisch onderzoek zelf. Deze vormen de uitgangspunten en niet zozeer het object van neuropsychologisch onderzoek. Hooguit kan daarom uit de mate waarin uit dit type onderzoek betere verklarende modellen van de geest voortvloeien, indirect de plausibiliteit dan wel de implausibiliteit van de gemaakte aannames worden afgeleid.

Van hersenactiviteit naar mentale activiteit

In tegenstelling tot de neuropsychologie, neemt de psychofysiologie het intacte, normaal functionerende organisme als uitgangspunt voor de bestudering van cognitief gedrag. In het standaard psychofysiologisch experiment wordt een proefpersoon gekoppeld aan een of ander meetinstrument en vervolgens worden bepaalde cognitieve taken uitgevoerd, bijvoorbeeld het categoriseren van geometrische figuren of het onthouden van getallenreeksen. Tijdens en/of na het uitvoeren van de taak, worden fysiologische metingen verricht. Traditioneel beheldden deze metingen zaken als de registratie van de bloeddruk, de hartslag, of de huidweerstand. Een in belang sterk toegenomen onderdeel van de psychofysiologie richt zich op het meten van de hersenactiviteit die optreedt bij gezonde proefpersonen tijdens het uitvoeren van cognitieve taken. Ook in dit geval gaat men ervan uit dat er een eenduidi-



Figuur 2: Een model voor het begrijpen en produceren van gesproken en geschreven woorden (uit Patterson & Shewell, 1987).

ge correspondentie bestaat tussen cognitieve processen enerzijds en de daaraan gecorreleerde neurofysiologische activiteit anderzijds. In de afgelopen decennia is een grote hoeveelheid informatie verzameld over de covariatie van neurofysiologische en psychologische processen. In het nu volgende zullen wij ons richten op één specifieke soort van hersenactiviteit, namelijk de electrofysiologische activiteit zoals die wordt geregistreerd in het electro-encefalogram (het EEG). Het gaat daarbij om een antwoord op de algemene vraag of, en zo ja op welke wijze registraties van de neurofysiologische correlaten van cognitieve activiteit inzicht kunnen bieden in de functionele architectuur van de bestudeerde cognitieve functie. Dat hierbij het zoeklicht alleen op het EEG-onderzoek gericht wordt, neemt niet weg dat de strekking van ons betoog hetzelfde blijft voor de correspondentie tussen willekeurig welke andere neurofysiologische maat en cognitie.

Grofweg kan men in het onderzoek naar de met cognitie samenhangende EEG-activiteit twee onderzoeksbenaderingen onderscheiden. In de ene benadering staat met name de samenhang tussen mentale functies en hersenactiviteit centraal. Evenals in de neuropsychologie richt de aandacht zich daarbij vooral op de localisatie van verschillende cognitieve functies in het brein. Men probeert te begrijpen hoe het cognitieve systeem geïmplementeerd is in het fysische systeem. Daarbij speelt op de achtergrond de gedachte dat uitspraken over de neurofysiologische activiteit eenduidige gevolgtrekkingen toelaten over de aard van de daarmee gecorreleerde cognitieve activiteit. In de andere onderzoeksbenadering staat de functionele architectuur van het cognitieve systeem zelf centraal. Het EEG-signaal wordt daarbij uitsluitend gebruikt om uitspraken te doen over de aard en structuur van het cognitieve systeem. Aan het feit dat we hier met een maat van hersenactiviteit te maken hebben wordt geen extra verklarende waarde gehecht. In dat geval functioneert de registratie van het EEG-signaal dus geheel analoog aan de reactietijdmethode.¹³ In experimenteel-psychologisch onderzoek wordt geprobeerd op basis van het patroon van reactietijden uitspraken te doen over het onderliggende mentale proces. Op analoge wijze probeert men in deze functionele variant van de psychofysiologie hetzelfde te doen op basis van het patroon van hersenactiviteit. Alvorens nader in te gaan op beide varianten van de psychofysiologie, zullen wij eerst in het kort toelichten wat de achtergrond is van EEG-registratie in het cognitief-psychologisch onderzoek.

Electrofysiologische manifestaties van cognitie

De elektrische activiteit van de hersenen kan in twee algemene categorieën worden onderverdeeld. Als eerste de continue, ritmische activiteit die spontaan optreedt in de hersenen. Dit is de activiteit die doorgaans wordt geregistreerd in het klinische EEG dat door de medicus

wordt gebruikt als hulpmiddel bij de diagnosestelling, bijvoorbeeld ter bepaling van epilepsie, maar ook ter vaststelling van de dood. In moderne definities van de dood wordt deze onder meer omschreven als het ontbreken van EEG-activiteit. Een bekend voorbeeld van het spontane EEG is het alpha-ritme, een zich alsnaar herhalende ritmische oscillatie van elektrische activiteit die vaak wordt geobserveerd wanneer mensen ontspannen, moe of in de eerste fase van hun slaap zijn. Behalve voor klinische doeleinden, wordt het spontane EEG ook gemeten in psychologisch onderzoek naar bijvoorbeeld het slaap-waak ritme. Voor cognitiewetenschappers is echter een tweede categorie van electrofysiologische activiteit veel interessanter. Het betreft hier de zogenaamde 'event-related brain potentials', kortweg ERPs.

ERPs zijn hersenpotentials die niet spontaan optreden in de hersenen maar, zoals de term al aangeeft, worden opgeroepen door gebeurtenissen - stimuluscondities - die zich in eerste instantie buiten de hersenen afspeelen. Hierbij kan gedacht worden aan vrij eenvoudige stimulatie, zoals het aanbieden van een lichtflits, maar ook aan stimuli van complexe aard, zoals gezichten of taal. ERPs worden dus 'aangewakkerd' door stimulatie van buiten af en zijn een uitdrukking van neurale activiteit die gerelateerd is aan de informatieverwerking in de hersenen. In het door stimulatie gemoduleerde EEG-signaal kunnen verschillende ERP-componenten worden onderscheiden. Bij de identificatie van de verschillende ERP-componenten spelen onder andere de polariteit en de latentie een belangrijke rol. De polariteit is de elektrische lading van het EEG-signaal, die (P)ositief of (N)egatief kan zijn. De latentie wordt gemeten vanaf het moment van fysieke stimulatie en wordt uitgedrukt in duizendsten van seconden (msec). Zo spreekt men bijvoorbeeld van de N100, waarmee een ERP-component met negatieve polariteit wordt bedoeld die (gemiddeld) 100 msec na het begin van de relevante fysieke stimulatie optreedt.

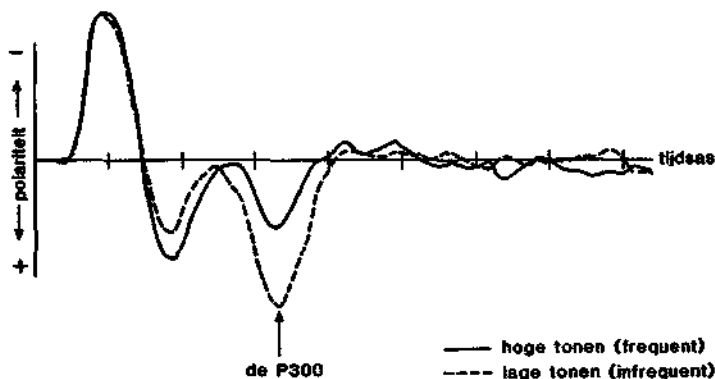
Voor cognitiewetenschappers zijn met name die ERPs interessant die niet zo zeer samenhangen met de fysieke karakteristieken van de stimulatie (zoals geluidsterkte of modaliteit), maar een uitdrukking zijn van cognitieve verwerkingsprocessen. Men noemt deze ERPs endogeen. Het standaardvoorbeeld van een endogene ERP-component is de P300, waaraan wij hieronder enige aandacht zullen besteden ter illustratie van de wijze waarop mentale activiteit zich electrofysiologisch kan manifesteren.¹⁴

Laten we daartoe het volgende zeer simpele experiment onder de loep nemen. Een proefpersoon krijgt via een koptelefoon een lange reeks tonen te horen. Sommige daarvan zijn hoge tonen, andere zijn lage tonen. Deze worden in een voor de proefpersoon onbekende en niet te voorspellen volgorde aangeboden. Tevens is er een onevenredige verdeling van de hoeveelheid hoge en lage tonen. De hoge tonen komen veel vaker voor dan de lage. De proefpersoon wordt gevraagd

goed naar de tonen te luisteren en daarbij het aantal lage tonen te tellen. Vervolgens wordt tijdens het luisteren naar de tonen het EEG voor de hoge en lage tonen afzonderlijk geregistreerd en gemiddeld. Dit resulteert in twee gemiddelde EEG-sporen die in figuur 3 zijn afgebeeld.

De doorgetrokken lijn stelt het gemiddelde EEG-spoor voor de hoge tonen voor, de onderbroken lijn dat voor de lage tonen. Met de pijl is de P300 aangegeven. Wat onmiddellijk opvalt is dat de amplitude van de P300 voor de lage tonen aanzienlijk groter is dan die voor de hoge tonen. Wat zo kan men zich afvragen, is er nu zo bijzonder aan het ontstaan van deze bobbel in een zich voortslingerende lijn van hersenactiviteit die gepaard gaat met het luisteren naar de infrequent voorkomende tonen? Het antwoord schuilt in de aard van de mentale activiteit die de P300 weerspiegelt. De P300 berust namelijk niet op een of ander triviaal verschil tussen de neurofysiologische verwerking van hoge en lage tonen, maar hangt samen met de relatieve waarschijnlijkheid waarmee de hoge en lage tonen optreden. Hoe geringer het aantal van een van beide typen tonen is dat in de reeks voorkomt, hoe groter de amplitude van de P300 voor deze klasse van tonen wordt. Met andere woorden, de proefpersoon vertoont op neurofysiologisch niveau een effect van de *informatiewaarde* die de stimulus binnen de hele reeks van stimuli (i.c. tonen) heeft. De informatiewaarde hangt niet zozeer samen met de kenmerken van de stimulus als zodanig, maar is veeleer een uitdrukking van de wijze waarop deze door het cognitief systeem verwerkt wordt. Informatiewaarde verwijst kortom naar de betekenis die de stimulus voor het cognitief systeem heeft. Dezelfde stimulus kan bij verschillende gelegenheden voor het cognitief systeem in betekenis verschillen. Zijn informatiewaarde wordt dus niet bepaald door fysische eigenschappen, maar door de invloed op het cognitieve systeem. Dit is de reden waarom de P300 als een endogene ERP-component wordt gekarakteriseerd. Toen de P300 in 1965 ontdekt werd, was men dan ook hoopvol gestemd over de mogelijkheid de neurofysiologische basis van de menselijke cognitie bloot te leggen.

Ook in dit geval bleken de zaken bij nadere beschouwing ingewikkelder dan aanvankelijk gedacht en gehoopt was. Want hoe laat het P300-effect zich nu karakteriseren in termen van de twee eerder onderscheiden aspecten van psychofysiologisch onderzoek? Zegt de P300 ons iets over de localisatie van cognitieve functies in de hersenen, of zegt de P300 ons iets over de functionele structuur van het cognitieve verwerkingsapparaat? Op basis van onderzoek in de afgelopen 20 jaar is inmiddels gebleken dat de P300 een bundeling van neurale activiteit weerspiegelt, waarbij meerdere verschillend gelocaliseerde groepen van neuronen betrokken zijn. Ook in cognitief opzicht is de P300 geen unitair fenomeen, maar verenigt zij een samenstel van onderscheiden cognitieve processen in zich. De gedachte dat er een eenduidige afbeelding mogelijk is van de neurofysiologische activiteit die



Figuur 3: Het EEG-spoor voor een ongelijke verdeling van hoge en lage tonen. De doorgetrokken lijn geeft het gemiddelde EEG weer voor de hoge tonen, de onderbroken lijn voor de lage tonen. Elektrische activiteit met een positieve lading staat onder de nullijn (een wat ongelukkig gebruik in de neurofysiologie). De nullijn is tevens de tijdsas. In de figuur is te zien dat de minder frequent voorkomende lage tonen resulteren in een duidelijk grotere amplitude van de P300 dan de hoge tonen. Dit verschil in amplitude weerspiegelt verschillen in de cognitieve verwerking van de hoge en lage tonen. De cognitieve verwerking blijkt gevoelig te zijn voor de relatieve frequentie van voorkomen van de tonen, en deze gevoeligheid manifesteert zich in het EEG (uit het werk van de auteurs).

zich manifesteert in de P300 op de daarmee corresponderende mentale activiteit, moet voornamelijk als te optimistisch gekenmerkt worden. Aangezien de P300 zowel op het niveau van de hersenen als op dat van het cognitieve systeem een complexe functie is van meerdere processen, is moeilijk voorstelbaar hoe de afbeeldingsrelaties tussen de betrokken processen op de beide niveaus zich uit P300-effecten laten afleiden. Daarmee is bepaald niet gezegd dat resultaten verkregen in P300-onderzoek rijp zijn voor de prullenmand. Wat dit type onderzoek namelijk wel onomstotelijk heeft aangetoond, is dat betrouwbare en replicerbare fysiologische manifestaties van cognitieve verwerking in de hersenen kunnen worden geregistreerd. Het is de preciese aard van de correspondentie tussen deze fysiologische en mentale activiteit die ons echter nog steeds ontgaat. Meer optimisme is gerechtvaardigd over de mogelijkheden de P300 te gebruiken als maat om functionele modellen van mentale activiteit te toetsen.

Teneinde de mogelijkheden en beperkingen van psychofysiologisch onderzoek naar de aard van de menselijke geest verder te kunnen analyseren, zullen we in de volgende twee secties aan de hand van een tweetal voorbeelden de beide onderzoeksbenaderingen binnen de psychofysiologie nader onder de loep nemen. Het eerste voorbeeld behelst een onderzoek waarin getracht is ERPs te gebruiken om uitspraken te doen over de neurofysiologische localisatie van cognitieve functies, in dit geval van bepaalde taalfuncties. Wij zullen hierbij de vraag stellen wat uit de localisatie van een cognitieve functie in de hersenen volgt voor een functioneel model van dit aspect van cognitie. Het tweede voorbeeld richt zich eveneens op aspecten van het taalsysteem en is bedoeld om te illustreren hoe ERPs gebruikt worden om uitspraken te doen over de functionele structuur van het cognitieve systeem.

Waar zetelen de woorden in ons brein?

Veel woorden in de taal hebben meerdere betekenisaspecten en soms zelfs meerdere heel verschillende betekenissen. Zo heeft het woord *kiezen* behalve de betekenis van beslissen of selecteren, ook de betekenis van botstukken in de mond. Dergelijke ambigue woorden vormen voor taalpsychologen een interessant object van onderzoek, omdat ze ons in staat stellen inzicht te verkrijgen in het proces van betekenisverlening tijdens de verwerking van taal. Omdat de verschillende betekenissen van ambigue woorden hun woordvorm gemeenschappelijk hebben, krijgen deze pas een eenduidige interpretatie in een zinscontext. Het proces van betekenisverlening bij ambigue woorden wordt dan ook vaak onderzocht door de zinscontext voorafgaande aan een ambiguo woord te manipuleren. In experimenteel onderzoek worden bij proefpersonen metingen verricht terwijl zij luisteren naar deze zinnen,

om zo te bepalen op welk moment zij de juiste betekenis selecteren en welke informatie daarbij een rol speelt. In het voorbeeld van *kiezen* corresponderen de twee betekenissen bovendien met twee verschillende grammaticale woordklassen; *kiezen* in de betekenis van beslissen of selecteren behoort tot de klasse van werkwoorden, terwijl *kiezen* in de betekenis van botstukken een zelfstandig naamwoord is. In alle gangbare functionele modellen van taalverwerking wordt onderscheid gemaakt tussen grammaticale en semantische (betekenis) informatie. Van beide vormen van informatie wordt aangenomen dat zij bij elk woord in het mentale lexicon afzonderlijk gespecificeerd zijn. Voor een taalpsycholoog rijst in zo'n geval de vraag of en zo ja op welk moment de taalgebruiker bij het selecteren van de juiste betekenis behalve van de semantische contextinformatie ook gebruik maakt van de in de zin aanwezige syntactische informatie. Deze syntactische informatie specificeert bijvoorbeeld welke woordklasse gegeven de context vereist is. Op deze wijze wordt getracht nadere invulling te geven aan dat deel van het taalverwerkingsproces dat zich als betekenisverlening laat omschrijven.

Aan het eind van de jaren zeventig verscheen er een aantal publicaties waarin voor het eerst van de ERP-methode gebruik gemaakt werd om het proces van betekenisverlening te onderzoeken.¹⁵ De onderzoekers lieten proefpersonen onder andere luisteren naar zinsparen eindigend met een ambigu woord, waarvan de beide betekenissen tot verschillende woordklassen behoorden. In het ene geval was dit een zelfstandig naamwoord, in het andere een werkwoord. Aldus onstonden zinsparen van het volgende type:

1. Hij heeft pijn aan zijn kiezen.
2. Hij kan maar moelijk kiezen.

Terwijl de proefpersonen naar de zinnen luisterden, werd het EEG gemeten via twaalf elektroden. Deze elektroden bestreken een vrij groot gebied op het hoofd, waardoor de onderzoekers informatie verkregen over de verdeling van de electrofysiologische activiteit over de cortex tijdens het luisteren naar de ambigue woorden. Uit het onderzoek bleek dat over de hele cortex gezien de werkwoordsvormen en de naamwoordsvormen van ambigue woorden een differentieel patroon van electrofysiologische activiteit vertoonden. Geconcludeerd werd dat verschillende populaties van neuronen actief zijn bij de werkwoordsvormen en de naamwoordsvormen van ambigue woorden.

De cruciale vraag is wat wij uit een dergelijk resultaat kunnen concluderen met betrekking tot het proces van taalverwerking? Het antwoord is: vrijwel niets. Uit het feit dat de verschillende betekenissen correleren met een maximale neurale activiteit in verschillende gebieden van de cortex, concluderen de onderzoekers dat met de gram-

maticale onderverdeling in werkwoorden en naamwoorden een onderscheiden fysiologische representatie in de hersenen gepaard gaat. Ook al stemt men met deze conclusie in, dan nog blijft de vraag wat ons dit meer leert dan dat werkwoorden en naamwoorden van elkaar verschillen. Dat op zich is echter geen nieuws. Door alleen maar te wijzen naar bepaalde gebieden in de hersenen waar eventueel een werkwoordsbetekenissen dan wel een naamwoordsbetekenissen zou kunnen 'zeten', wordt niets toegevoegd aan ons inzicht in de processen van informatieverwerking die zich voltrekken wanneer we luisteren naar woorden en zinnen. Stel dat uit dit onderzoek gebleken was dat de patronen van electrofysiologische activiteit voor werkwoords- en naamwoordsbetekenissen niet van elkaar verschiden; wat was in dat geval de consequentie geweest voor ons cognitieve model van taalverwerking? Hadden wij dan plotseling moeten concluderen dat er geen onderscheid bestaat tussen de beide grammaticale categorieën, omdat er geen corresponderend onderscheid in hersenactiviteit gevonden wordt? Het antwoord daarop is: nee, een dergelijke conclusie kan niet getrokken worden. Op het (taal)psychologische niveau van beschrijving en verklaring is de evidentie voor het onderscheid tussen werkwoorden en zelfstandige naamwoorden eenduidig. Grammaticaal bepaalde woordklassen behoren tot de 'natural kinds' van de taalkunde en de taalpsychologie. Deze worden niet zomaar opgegeven indien op een ander niveau van beschrijving en verklaring geen daarmee corresponderende entiteiten worden aangetroffen. Derhalve kan dit onderzoek op zijn hoogst bevestigen wat reeds bekend was: werkwoorden verschillen van zelfstandige naamwoorden. Daarmee hebben de resultaten voor een verdere invulling van of het kiezen tussen verschillende functionele modellen van taalverwerking geen enkele waarde. Wat hieruit blijkt is dat zonder een uitgewerkt model van taalbegrip en de bijbehorende voor dit model relevante empirische voorspellingen, de gemeten fysiologische activiteit zich niet zinvol laat interpreteren in termen van een verklarend model van menselijke cognitie. In het beschreven onderzoek is de vraagstelling onvoldoende vanuit een functioneel model van taalverwerking tot stand gekomen om op basis van het gevonden patroon van electrofysiologische activiteit zinvolle uitspraken te doen over de processen die bij taalbegrip betrokken zijn.

Hier wordt een binnen de neurowetenschappen vaker gemaakte fout duidelijk. Deze betreft de redenering dat uit het feit dat cognitieve processen een fysiologische instantiatie hebben, de conclusie getrokken wordt dat neurofysiologische processen dus ook een onmiddellijke verklarende waarde hebben binnen een theorie van cognitie. Dat blijkt niet zo te zijn. De onderzoeksbenadering in de psychofysiologie die zich met name richt op het localiseren van cognitieve functies in de hersenen heeft dan ook weinig bijgedragen aan onze kennis van de geest. Het soort resultaten dat in deze benadering verkregen wordt

heeft zelden extra verklarende waarde ten aanzien van de cognitieve functies zelf. De verklarende waarde vindt zijn oorsprong in een functioneel model van cognitie. Maten ontleend aan de activiteit van het centrale zenuwstelsel kunnen alleen binnen het kader van een dergelijk functioneel model relevante gegevens opleveren. De vraag die daarbij rijst is of neurofysiologische evidentie dan nog wel een speciale status heeft in vergelijking met andere vormen van evidentie die verkregen worden in experimenteel onderzoek waarin functionele modellen van menselijke cognitie worden beproefd. Op deze vraag zal hierna worden ingegaan.

Hoe zetelen de woorden in onze geest?

Het tweede voorbeeld over de correspondentie tussen neurofysiologie en cognitie is eveneens afkomstig uit psychofysiologisch onderzoek naar het taalsysteem. Het betreft de organisatie van het mentale lexicon: de in ons hoofd opgeslagen informatie over onze woordenschat.

Hoewel de tellingen uiteenlopen, wordt aangenomen dat de gemiddelde volwassene beschikt over een vocabulair van minstens 50.000 woorden. Tevens is bekend dat mensen in normale conversatie probleemloos in staat zijn om twee tot drie woorden per seconde te begrijpen. Dit impliceert dat tijdens het normale luisterproces, de luisteraar binnen een halve seconde moeiteloos een woord uit een verzameling van grofweg 50.000 woorden ophaalt. Onderzoek naar de wijze waarop dit gebeurt vormt al jaren een centraal onderdeel van de taalpsychologie. Dat dit luisterproces zo soepel kan verlopen, hangt samen met de organisatie van het mentale lexicon. De gedachte is dat het mentale lexicon opgebouwd is uit knopen die onderling zijn verbonden. Iedere knoop stelt een woord voor en de verbindingen tussen de knopen representeren de betekenisrelaties tussen woorden.¹⁶ Woorden die qua betekenis verwant zijn hebben meer verbindingen gemeen en liggen in het netwerk dichter bij elkaar dan woorden die in betekenis sterker verschillen (zie figuur 4).

Telkens als een woord wordt herkend, stuurt het via zijn verbindingen kortstondig wat activatie uit naar de woorden waarmee het verbonden is. Het gevolg hiervan is dat verwante woorden op grond van hun tijdelijk verhoogde activatiewaarde makkelijker te herkennen zijn dan woorden die niet verwant zijn met het eerder herkende woord. Ondersteunende evidentie voor een dergelijke organisatie van het mentale lexicon komt onder meer uit reactietijdonderzoek. Het blijkt dat een woord sneller herkend wordt indien daaraan een qua betekenis verwant woord voorafgaat (bijvoorbeeld *hond-kat*), dan wanneer hetzelfde woord wordt voorafgegaan door een ongerelateerd woord (bijvoorbeeld *lamp-kat*).

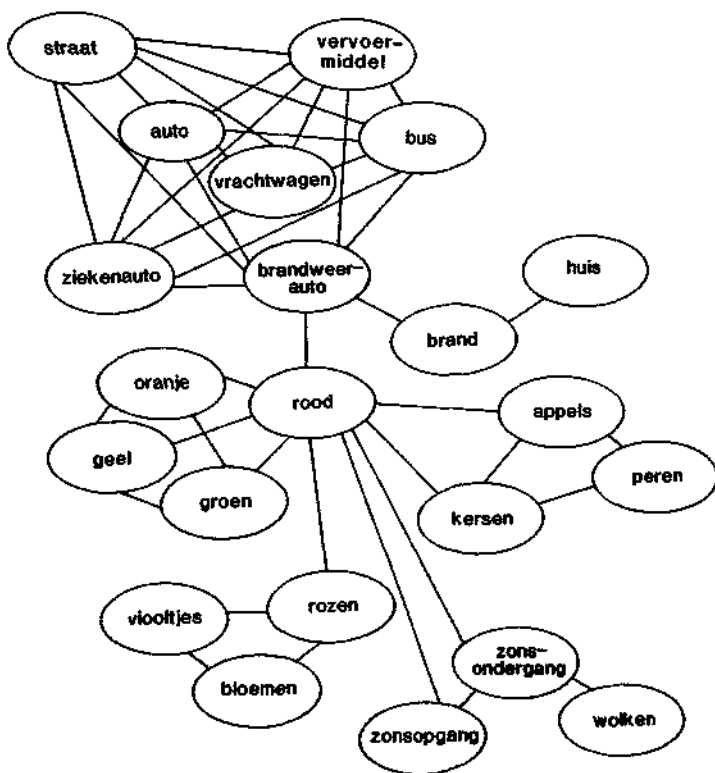
Sinds enige tijd wordt ook electrofysiologisch onderzoek verricht

naar de betekenisrelaties tussen woorden en de implicaties daarvan voor de organisatie van het mentale lexicon. Een belangrijke aanzet daartoe vormden de bevindingen die Kutas en Hillyard in 1980 voor het eerst rapporteerden. Het bleek dat woorden die qua betekenis niet in de zin pasten (bijvoorbeeld "Hij liep te wandelen in de oven"), een duidelijke uitslag in het EEG-signaal veroorzaakten. Deze uitslag had een negatieve polariteit en bereikte zijn maximum zo'n 400 msec na aanbieding van het niet-passende woord. De betreffende ERP-component staat thans bekend als de N400. Inmiddels is vastgesteld dat de N400 opgewekt wordt door alle in een zin voorkomende woorden, maar dat de amplitude van de N400 varieert naar de mate waarin een woord in de zin past. Zo is de amplitude van de N400 voor *oven* in bovengenoemde zin groter dan de amplitude van de N400 voor hetzelfde woord in "De man legde het vlees in de oven". De N400 kan dus gekarakteriseerd worden als een *electrofysiologische* manifestatie van de semantische verwerking tijdens het proces van taal begrijpen.

Het meten van de N400 wordt onder andere toegepast in onderzoek naar de organisatie van het mentale lexicon. Net zoals in het reactietijdonderzoek krijgen proefpersonen daarbij woordparen aangeboden die wel of niet verwant zijn. Uit het EEG blijkt dat de amplitude van de N400 voor het tweede woord in een paar systematisch varieert als een functie van de betekenisrelatie met het eerste woord. Naarmate het tweede woord in betekenis meer verwant is met het eerste neemt de amplitude van de N400 voor dit tweede woord af (zie figuur 5).

Met betrekking tot een functioneel model van taalverwerking is dit een inzichtelijk resultaat. Zoals reeds in reactietijdonderzoek gebleken was, vertalen de betekenisrelaties tussen woorden zich in meetbare effecten. In dit geval betreffen deze de *electrofysiologische* activiteit van de cortex. Het gevonden effect laat zich goed verklaren in termen van een functioneel model van taalverwerking, mede omdat de opzet van het experiment voortvloeide uit een functionele vraagstelling. Het ondersteunt de gedachte dat het mentale lexicon is opgebouwd als een semantisch netwerk. Duidelijk is tegelijkertijd dat bij het onderhavige onderzoek naar de aard van het functioneel model de N400 geen andere rol speelt dan bijvoorbeeld de reactietijden. Beide laten dezelfde uitspraken toe met betrekking tot de functionele architectuur van het taalsysteem. Er is dan ook geen enkele reden om de N400 een 'status aparte' te geven op grond van het feit dat het een *neurofysiologische* meting betreft. Immers, het *neurofysiologische* karakter van de N400 op zichzelf voegt niets extra's toe aan ons begrip van het mentale lexicon.

Iedere meting, fysiologisch of anderszins, kan alleen zinvol worden geïnterpreteerd met betrekking tot een bepaald niveau van beschrijving en verklaring. Indien we de werking van de hersenen willen onderzoeken, dan moet aan een *neurofysiologische* meting meer waarde worden gehecht dan aan het meten van reactietijden. Hetzelfde geldt



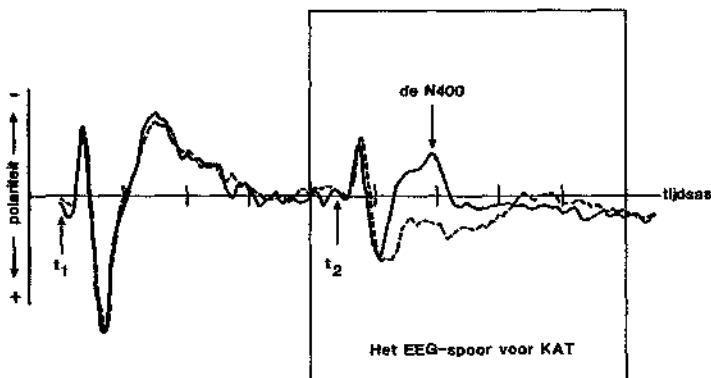
Figuur 4: Een voorbeeld van een semantische netwerkstructuur van het mentale lexicon (naar Collins & Loftus, 1975). De figuur representeert een deel van het mentale lexicon, weergegeven als een functie van betekenisrelaties. De knopen in het netwerk representeren afzonderlijke woorden, de lijnstukken representeren betekenisrelaties tussen de woorden. De lengte van de lijnstukken representeert de sterkte van de verwantschap tussen de afzonderlijke woorden.

echter niet per definitie wanneer cognitieve processen het onderzoeksobject zijn. Voor het opstellen van een verklarend model van menselijke cognitie is een functioneel niveau van beschrijving en verklaring vereist. Zoals uit de voorbeelden blijkt, speelt daar een maat van hersenactiviteit geen andere rol dan een reeks van maten die niet onmiddellijk met het neurofysiologisch substraat van menselijke cognitie samenhangen.

Slotbeschouwing

In het bovenstaande zijn een tweetal terreinen van onderzoek die zich op het kruispunt van lichaam en geest bevinden, nader onder de loep genomen. De centrale vraag daarbij was in hoeverre kennis van het centrale zenuwstelsel een bijdrage kan leveren aan kennis van de geest. Uit de praktijk van het cognitief neuropsychologisch en psychofysiologisch onderzoek blijkt dat meer inzicht in het brein niet als vanzelf leidt tot meer inzicht in het daarin geïmplementeerde cognitieve systeem. Desalniettemin wordt een dergelijke opvatting vrij regelmatig onder neurowetenschappers aangetroffen.¹⁷ Veelal ligt daaraan een verwarring van een ontologisch materialisme met een reductionistische epistemologie ten grondslag. De ontologische positie waarvoor men kiest heeft echter geen noodzakelijke epistemologische consequenties. De om meerdere redenen verdedigbare keuze voor een materialistische ontologie impliceert geenszins dat men vervolgens ook een reductionistisch onderzoeksprogramma moet aanhangen. Zoals hierboven reeds meerdere malen is aangegeven zijn er zelfs goede redenen om voor het verklaren van de menselijke cognitie een van de neurowetenschappen gescheiden niveau van beschrijving en verklaring te handhaven. Immers, ook al leveren de neurowetenschappen ons een volledig beeld van de bij verschillende cognitieve functies betrokken structuren, dan nog weten we daarmee niet hoe het proces van visuele waarneming verloopt, waaruit het produceren en begrijpen van woorden en zinnen bestaat, etc. Kortom, naast de neurowetenschappen hebben we de cognitiewetenschappen nodig om ons een functioneel model van de menselijke geest te leveren.

De hier bepleite relatieve autonomie betekent niet dat aan het neurofysiologisch substraat geen evidentie voor of tegen een bepaald functioneel model van een specifieke cognitieve functie ontleend kan worden. De dubbele dissociaties in de neuropsychologie en het electrofysiologisch onderzoek naar de structuur van het mentale lexicon illustreerden op welke wijze aan het neurofysiologisch substraat empirische gegevens ontleend worden die interpreteerbaar zijn in termen van een functioneel model. De evidentie ontleend aan het brein heeft echter in dat opzicht geen 'status aparte', maar is niet meer en ook niet



Figuur 5: Het EEG-spoor voor verwante en niet-verwante woordparen. De doorgetrokken lijn geeft het EEG weer voor verwante woordparen (i.c. *hond-kat*), de onderbroken lijn voor niet-verwante woordparen (i.c. *lamp-kat*). Op tijdstip t_1 wordt ofwel *hond* ofwel *lamp* aangeboden. Op tijdstip t_2 wordt *kat* aangeboden. Als een functie van de mate waarin *kat* met het voorafgaande woord in betekenis verwant is, blijkt de grootte van de amplitude van de N400 voor het woord *kat* te variëren. Voor niet-verwante woordparen manifesteert zich een grotere amplitude van de N400 dan voor verwante woordparen (uit het werk van de auteurs).

minder dan één soort van empirische gegevens temidden van een reeks aan andere typen data die als evidentie gelden binnen de cognitieve psychologie.

De mate waarin de direct aan de hersenen gekoppelde empirische data belangrijke evidentie leveren voor functionele modellen van menselijke cognitie, is bovendien afhankelijk van de mate waarin het gerechtvaardigd is een aantal aannames te maken. De belangrijkste van deze aannames is die van de isomorfie tussen hersenen en geest. Volgens deze aanname corresponderen de organisatie van hersenen en geest op een niet-triviale wijze met elkaar.¹⁸ Dit houdt in dat de wijze waarop de geest verkaveld is in onderscheiden cognitieve functies op een in principe transparante manier correspondeert met de wijze waarop het brein in verschillende structuren is verkaveld. Indirect zal de houdbaarheid van de isomorfie-aanname moeten blijken uit de mate waarin de neuropsychologie en de psychofysiologie bijdragen aan het tot stand komen van succesvolle verklarende modellen van de menselijke geest.

Tenslotte veroorloven wij ons hier nog een enkele opmerking over de neurobiologische claims van het connectionisme. In het connectionisme heeft men zich de opgave gesteld een computationeel model van de menselijke geest te ontwerpen op basis van de blauwdruk die aan het centrale zenuwstelsel ten grondslag ligt.¹⁹ In zoverre breekt het connectionisme daarin met de lange traditie in de psychologie waarin modellen van de menselijke geest meestal werden opgebouwd naar analogie van de meest geavanceerde techniek van het betreffende tijdperk.²⁰ Herkennen wij in Freud's model van de geest nog de stoommachine, sinds de zestiger jaren heerst de computermetafoor in de psychologie. Het connectionisme opteert er thans voor niet langer de von Neumann-machine als metafoor voor de menselijke geest te nemen, maar daarvoor het brein zelf in de plaats te stellen. De achterliggende gedachte is dat de zoekruimte van mogelijke computationele modellen van de menselijke geest zinvol ingeperkt kan worden door met de huidige kennis van het neurofysiologisch substraat rekening te houden.²¹ Een dergelijke strategie is zeker de moeite van het proberen waard. Uiteindelijk zal vanzelf blijken of het connectionisme ons daardoor betere modellen van menselijke cognitie levert dan zijn voorgangers en concurrenten. Desalniettemin zijn enkele kanttekeningen op zijn plaats. In sommige gevallen wordt op zijn minst gesuggereerd dat connectionistische modellen van cognitie beter zijn, juist omdat zij meer op de hersenen lijken. Dit nu berust op dezelfde 'neurobiological fallacy' die wij hierboven bestreden hebben. Allereerst staat nog te bezien in hoeverre connectionistische modellen voldoende hersenachtig zijn,²² maar zelfs al zou dat zo zijn dan nog geeft dat op zichzelf deze modellen geen extra verklarende kracht. Ook al kiezen connectionisten het brein als hun 'context of discovery', neemt dat niet weg dat de 'context of

justification' ook voor connectionistische modellen louter en alleen op het functionele niveau van beschrijving en verklaring ligt; althans zolang men de pretentie heeft menselijke cognitie te verklaren. Connectionistische modellen vinden hun rechtvaardiging dus alleen in de mate waarin zij betere functionele verklaringen van menselijke cognitie voortbrengen.

Een tweede kanttekening betreft de computationele eigenschappen van het connectionisme. Uiteindelijk levert een neuraal model dat een cognitieve functie simuleert ons geen echt inzicht in de menselijke geest op indien deze simulatie zich niet laat karakteriseren in termen van een goed gespecificeerde (mathematische) abstractie van de feitelijke simulatie. Als het connectionisme daartoe niet in staat is, kunnen connectionistische modellen voor welke cognitieve functie dan ook pas echt op hun houdbaarheid getoetst worden indien een volledig connectionistisch model van de menselijke geest is geconstrueerd. Dit zou een netwerk vereisen met een aantal eenheden in de orde grootte van 10^{11} , bij benadering het aantal neuronen dat volgens recente schattingen in het menselijke centrale zenuwstelsel voorkomt.²³ Om praktische en wellicht ook om principiële redenen is het uitgesloten dat een dergelijke route begaanbaar is.²⁴ Als het connectionisme adequate modellen van de menselijke cognitie wil ontwerpen door zijn heuristiek aan de organisatieprincipes van de hersenen te ontleen, dan zal op enig moment de sprong van mathematisch weinig inzichtelijke simulaties in een neuraal oerwoud van neuronen (knopen) en hun verbindingen (connecties) naar een daarvan geabstraheerde, functioneel inzichtelijke beschrijving van de mentale programmatuur moeten volgen.

Al met al laat de samenhang tussen lichaam en geest zich dus nog het best kenschetsen als een LAT-relatie. Weliswaar zijn lichaam en geest onscheidbaar, maar hun relatie is ermee gediend dat ze ieder een eigen adres behouden. Voor de geest zijn dat de cognitiewetenschappen, voor de hersenen zijn dat de neurowetenschappen. Hoewel de reductionisten ervoor pleiten dat lichaam en geest voordeurdelers worden, hebben wij getracht duidelijk te maken dat het laten samenvallen van het venster op de geest met het venster op het brein ons niet zonder meer de weidse panorama's verschaft die de reductionistische reisgidsen ons voorspiegelen.²⁵

Noten

- 1 Geciteerd in Marshall (1982).
- 2 Een ander gebied van psychologisch onderzoek waarin de samenhang tussen het centrale zenuwstelsel en de psyche centraal staat, is de psychofysica. In de psychofysica wordt o.a. gezocht naar de samenhang tussen prikkeling van een zintuig en de bijbehorende waarneming. De

grondlegger van de psychofysica, Gustav Theodor Fechner, ontdekte dat de intensiteit van een gewaarwording op mathematisch beschrijfbaar wijze samenhangt met de intensiteit van de aangeboden fysische prikkel. Deze relatie liet zich volgens Fechner beschrijven in de formule $S = k \log R$, waarbij S staat voor de intensiteit van de gewaarwording (*Sensation*) en R voor die van de prikkel (*Reiz*). Voor Fechner was daarmee aangetoond dat materie en geest tot elkaar herleidbare grootheden zijn, waarvan geest in zijn visie de uiteindelijk enig echte werkelijkheid vormde. Behalve zijn *Elemente der Psychophysik* (1860), publiceerde hij, weliswaar onder pseudoniem, vanuit deze geesteshouding zijn *Vergleichende Anatomie der Engel*.

De psychofysica heeft met name bij het verkrijgen van kennis over het visuele waarnemingsstelsel de laatste decennia grote vooruitgang geboekt. Een fraai recent voorbeeld daarvan is het werk van Newsome, Britten & Movshon, *Nature* 341, 7 september 1989.

Hoewel in onze bijdrage verder geen aandacht wordt besteed aan de psychofysica, menen wij dat de resultaten in de psychofysica de portee van ons betoog onverlet laten. De reden daarvoor is dat de psychofysica ons vrijwel niets te vertellen heeft over de hogere cognitieve processen die onafhankelijk zijn van het zintuigstelsel (gehoor, gezicht) waarlangs de informatie het organisme binnen komt. Deze modaliteitsonafhankelijke hogere cognitieve processen vormen echter een centraal bestanddeel van de menselijke geest.

- 3 Dit citaat is afkomstig uit het Presidential Address van Michael Coles voor de Society for Psychophysiological Research, 1988.
- 4 Recent onderzoek naar de aard van de taalstoornis waaraan sprekers van telegramstijl lijden, laat zien dat een dergelijke wijze van spreken veel sterker syntactisch beregeld is dan lange tijd werd gedacht. Telegramstijl is derhalve geen uiting van een volledig ontbreken van de kennis die vereist is om syntactisch welgevormde zinnen te vormen. Veeleer moet gedacht worden aan een onvermogen om syntactische kennis bij het spreken efficiënt te gebruiken. Hoe deze stoornis in het syntactisch verwerkingsmechanisme precies gekarakteriseerd moet worden, is onderwerp van discussie en onderzoek. Zie o.a. Kolk & van Grunsven (1985).
- 5 Zie de bijdrage van Sleutels aan deze bundel.
- 6 Zie Mehler, Morton & Jusczyk (1984).
- 7 Zie o.a. Ellis & Young (1988).
- 8 Zie Saffran (1982).
- 9 Zie Caramazza (1984).
- 10 Zie Poeck (1983).
- 11 Geciteerd in Ellis & Young (1988).
- 12 Zie Shallice (1988).
- 13 Zie de bijdrage van Draaisma, elders in deze bundel.
- 14 De P300 is voor het eerst gerapporteerd in 1965, door Sutton, Braren, Zubin & John (1965).
- 15 Zie Brown, Lehmann & Marsh (1980), Brown, Marsh & Smith (1979) en Marsh & Brown (1977).
- 16 Zie ook de bijdrage van Draaisma aan deze bundel.
- 17 Zie Lokhorst (1986), voor een schets van de naïeve opvattingen die vooraanstaande neurowetenschappers er op nahouden met betrekking tot de relatie tussen hersenen en cognitie.

- 18 Een triviale correspondentierelatie is die welke vereist is om als token-fysicalist consistent te zijn met een materialistische ontologie. Het token-fysicalisme stelt als minimumeis dat de hersenen de zetel van de geest zijn.
- 19 Zie ook de bijdrage van Phaf & Murre, elders in deze bundel.
- 20 Zie o.a. Marshall (1977) en Vroon & Draaisma (1985).
- 21 Zie o.a. Churchland & Sejnowski (1988).
- 22 Zie bijvoorbeeld de opmerkingen die Francis Crick (1989) daarover onlangs in *Nature* heeft gemaakt
- 23 Zie de nieuwsrubriek in *Nature* 334, 11 augustus 1989, p. 458.
- 24 Zie in dit verband ook de opmerkingen gemaakt in Hagoort & Maessen (1986), en in de bijdragen van Marshall en Levelt, elders in deze bundel.
- 25 Dank zijn wij verschuldigd aan dr. Herman Kolk, prof. dr. Willem Levelt en drs. Peter Praamstra voor hun waardevolle commentaar op een eerdere versie van deze bijdrage.

Literatuur

- Brown, W.S., Lehmann, D. & Marsh, J.T., Linguistic meaning related differences in evoked potential topography: English, Swiss-German, and Imagined. *Brain and Language* 11, 1980, 340-353.
- Brown, W.S., Marsh, J.T. & Smith, J.C., Principal component analysis of ERP differences related to the meaning of an ambiguous word. *Journal of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 41, 1979, 709-714.
- Caramazza, A., The logic of neuropsychological research and the problem of patient classification in aphasia. *Brain and Language* 21, 1984, 9-20.
- Churchland, P.S. & Sejnowski, T.J., Perspectives on cognitive neuroscience. *Science* 242, 1988, 741-745.
- Coles, M.G.H., Modern mind-brain reading: Psychophysiology, physiology, and cognition. *Psychophysiology* 26, 1989, 251-269.
- Crick, F., The recent excitement about neural networks. *Nature* 337, 1989, 129-132.
- Ellis, A.W. & Young, A.W., *Human cognitive neuropsychology*. London: Lawrence Erlbaum Associates 1988.
- Fechner, G.T., *Elemente der Psychophysik*. Leipzig: Breitkopf und Härtel 1860.
- Fodor, J.A., *The language of thought*. New York: Thomas Y. Crowell 1975.
- Fodor, J.A., *The modularity of mind: An essay on faculty psychology*. Cambridge, Mass.: A Bradford Book/The MIT Press, 1983.
- Hagoort, P. & Maessen, R., Ten geleide. In: P. Hagoort & R. Maessen (red), *Geest, computer, kunst*. Utrecht: Grafiet 1986.
- Kolk, H. & Grunsvan, M., Agrammatism as a variable phenomenon. *Cognitive Neuropsychology* 2, 1985, 347-384.
- Kutas, M. & Hillyard, S.A., Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. *Science* 207, 1980, 203-205.
- Lokhorst, G.J.C., *Brein en bewustzijn: De geest-lichaam theorieën van moderne hersenonderzoekers (1956-1986)*. Delft: Eburon 1986.
- Marsh, J.T. & Brown, W.S., Evoked potential correlates of meaning in the perception of language. In: J. Desmedt (red), *Language and hemispheric specialization in man: Cerebral event-related potentials. Progress in clinical neurophysiology, Vol. 3*. Basel: Karger 1977.

- Marshall, J.C., Minds, machines and metaphors. *Social Studies of Science* 7, 1977, 475-488.
- Marshall, J.C., Models of the mind in health and disease. In: A.W. Ellis (red), *Normality and pathology in cognitive functions*. London: Academic Press 1982.
- Mehler, J., Morton, J. & Jusczyk, P.W., On reducing language to biology. *Cognitive Neuropsychology* 1, 1984, 83-116.
- Newsome, W.T., Britten, K.H. & Movshon, J.A., Neuronal correlates of perceptual decision. *Nature* 341, 1989, 52-54.
- Patterson, K. & Stewell, C., Speak and Spell: Dissociations and word-class effects. In: M. Coltheart, G. Sartori & R. Job (red), *The cognitive neuropsychology of language*. London: Lawrence Erlbaum 1987.
- Poeck, K., What do we mean by "Aphasic syndromes?": A neurologist's view. *Brain and Language* 20, 1983, 79-89.
- Putnam, H., *Mind, language and reality. Philosophical papers, Vol. 1*. Cambridge: Cambridge University Press 1975.
- Saffran, E.M., Neuropsychological approaches to the study of language. *British Journal of Psychology* 73, 1982, 317-337.
- Shallice, T., *From neuropsychology to mental structure*. Cambridge: Cambridge University Press 1988.
- Sutton, S., Braren, M., Zubin, J. & John, E.R., Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty. *Science* 150, 1965, 1187-1188.
- Vroon, P. & Draaisma, D., *De mens als machine: Over vergelijkingen van mens en machine in filosofie en psychologie*. Baarn: Ambo 1985.
- Zihl, J., von Cramon, D. & Mai, N., Selective disturbance of movement vision after bilateral brain damage. *Brain* 106, 1983, 313-340.