

de
Oorsprong

*Over het ontstaan van
het leven en alles eromheen*

NIKI KORTEWEG (RED.)

Dit boek is gebaseerd op de tiende editie van de Paradisolezingen, een reeks populair-wetenschappelijke lezingen die van januari tot juni 2004 werd gehouden in Paradiso, Amsterdam. De lezingenserie wordt jaarlijks georganiseerd door de K.L. Pollstichting voor Onderwijs, Kunst en Wetenschap (OKW), in samenwerking met de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO), Paradiso en de VPRO.

De integrale lezingen en de daaropvolgende discussies zijn te beluisteren op www.fabchannel.com

© 2004 de auteurs

Behoudens de in of krachtens de Auteurswet van 1912 gestelde uitzonderingen mag niets uit deze uitgave worden veelevoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch door fotokopieën, opnamen of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voorzover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikelen 16h t/m 16m Auteurswet 1912 jo. Besluit van 27 november 2002, Stb 575, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoeding te voldoen aan de Stichting Reprorecht te Hoofddorp (postbus 3060, 2130 KB, www.reprorecht.nl) of contact op te nemen met de uitgever voor het treffen van een rechtstreekse regeling in de zin van art. 16l, vijfde lid, Auteurswet 1912. Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16, Auteurswet 1912) kan men zich wenden tot de Stichting PRO (Stichting Publicatie- en Reproductierechten, postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp, www.cedar.nl/pro).

No part of this book may be reproduced in any way whatsoever without the written permission of the publisher.

Het merendeel van de figuren is gemaakt door Mantext dtp, Moerkapelle
Omslagontwerp: Mesika Design, Hilversum
Zetwerk: Steven Boland, Amsterdam
Druk en afwerking: Hentenaar boek, Nieuwegein

ISBN 90 8506 008 7
NUR 740

INHOUD

Woord vooraf	7
De oorsprong van het heelal Prof.dr. Robbert H. Dijkgraaf	9
Speculaties en fantasieën over de oorsprong van de materie Prof.dr. Martinus J.G. Veltman	32
De oorsprong van de aarde Prof.dr. Harry N.A. Priem	54
De oorsprong en ontwikkeling van leven op aarde Prof.dr. Steph B.J. Menken	74
De zoektocht naar de oorsprong van de mens Prof.dr. Wil Roebroeks	92
Het zwarte gat tussen brein en bewustzijn Prof.dr. Peter Hagoort	107
De oorsprong van het schrift Prof.dr. Wilfred H. van Soldt	125
De oorsprong van de wiskunde Prof dr Jan van de Craats	142

de kinderen en scharrelden hun kostje bij elkaar in de buurt van die grotten. De mannen vonden af en toe een dood dier en peuzelden dat op en kregen soms ook een klein dier te pakken. Zij kwamen alleen af en toe naar de grot met een stuk vlees.

Het onderzoek van de laatste decennia heeft het (hier simpel weergegeven!) model van Binford genuanceerd en waar nodig gecorrigeerd. Zijn visie op de Neanderthalers heeft veel vruchtbaar onderzoek opgeleverd, maar is uiteindelijk verworpen omdat het te simplistisch werd geacht, want het jagen en de verregaande samenwerking ontbreken hierin. Met de beperkte uitspraken die we kunnen doen, kunnen we voor dit Neanderthalertakje van de menselijke afstammingsstruik de details gedeeltelijk invullen. Maar de zoektocht naar de oorsprong van de mens in die hele struik is in feite pas net begonnen.

HET ZWARTE GAT TUSSEN BREIN EN BEWUSTZIJN

Prof.dr. Peter Hagoort

*Hoogleraar cognitieve neurowetenschap aan de Radboud Universiteit Nijmegen en
directeur van het F.C. Donders Centre for Cognitive Neuroimaging, Nijmegen*

3
i

Bewustzijn is een van die laatste grote raadsels die de wetenschap moet oplossen. Wat is het, waar zit het, wanneer begint het? Hersenonderzoekers, biologen, filosofen en psychologen zijn het op allerlei vlakken met elkaar oneens. Het bewustzijn is een toestand van het brein waarover we kunnen rapporteren. Daarnaast is het een toestand die met een bepaalde gewaarwording gepaard gaat, zoals pijn voelen, kleuren zien, enzovoorts. Die zogenoemde 'fenomenale gewaarwordingen' vormen een belangrijk aspect – volgens sommigen het belangrijkste aspect – van dat wat wij 'bewustzijn' noemen.

Nu is het bewustzijn slechts het topje van een ijsberg; van het meeste dat zich in ons brein afspeelt, zijn we ons niet bewust. Als bijvoorbeeld de puntenwolk van Peter Struycken, die u allemaal kent van de postzegel, op uw netvlies valt, bent u in staat daarin een gezicht te herkennen. U kunt het zelfs herkennen als het gezicht van onze koningin, u kunt uit uw geheugen de naam die bij het gezicht hoort ophalen en dat alles in tienden van milliseconden. U kunt mij echter niet vertellen hoe u die informatie uit uw geheugen heeft opgehaald.

Bewustzijn en onderbewustzijn

In feite is het bewustzijn een toestand van onze hersenen die eerder uitzondering is dan regel. Het meeste van wat u en ik op een dag doen en aan informatie verwerken en aan breinactiviteit oproepen, speelt zich af in de kelders van de geest: het onderbewustzijn. Als ik u bijvoor-

beeld vraag hoeveel tanden u ziet wanneer u in de spiegel kijkt bij het tandenpoetsen, dan zullen de meesten van u hard moeten nadenken – dit terwijl u toch over het algemeen dagelijks uw tanden poetst. U ziet die tanden wel bij het poetsen, maar u ziet ze in feite ook niet.

Om er achter te komen wat de functie is van een bepaald hersengebied zijn patiënten met een bepaalde beschadiging aan het brein zeer illustratief. Zo lijdt iemand die een beschadiging heeft in een bepaald deel van de rechter hersenhelft aan het verschijnsel van *neglect*: het niet actief waarnemen van een bepaald gedeelte van het gezichtsveld. In dit geval is dat het linker visuele veld.

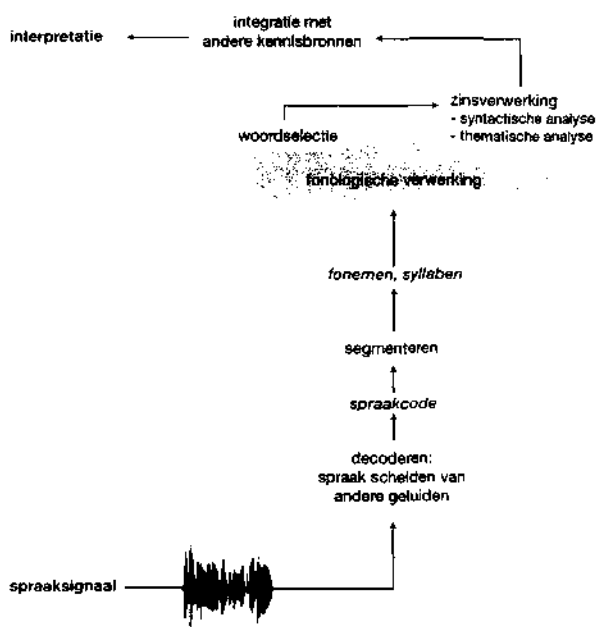
De onderzoekers John Marshall en Peter Halligan hebben in 1988 het volgende laten zien: toen een patiënte met die aandoening twee plaatjes van identieke huizen voorgelegd kreeg, waarbij het ene huis aan de linkerkant in brand stond en het andere huis niet, zag zij geen verschil tussen de plaatjes. Zij vroegen die patiënte vervolgens enkele malen in welk van de twee huizen ze wilde wonen als ze moest kiezen. De patiënte koos vrijwel steeds voor het niet brandende huis. Op de een of andere manier heeft haar brein dus toch gesignaleerd dat het veiliger is om in dat huis te wonen. Ons brein verwerkt dus voortdurend informatie die niet tot het bewustzijn doordringt, maar wel ons gedrag stuurt.

Het onderbewustzijn zichtbaar maken

De menselijke geest wordt vandaag de dag beschouwd als het collectief aan cognitieve functies waarover de mens beschikt. Daaronder vallen de visuele en auditieve waarneming, taal spreken en begrijpen, het geheugen, aandacht, emoties, bewustzijn en het uitvoeren van handelingen, zoals lopen. Een groot deel van die cognitieve processen verloopt terwijl wij ons er niet van bewust zijn. Hoe maakt het hersenonderzoek die onderbewuste processen nu zichtbaar?

Van alle cognitieve functies kunnen hersenonderzoekers blauwdrukken maken, als een architect. Ze kunnen in kaart brengen hoe de verschillende deelstukjes van elk van die cognitieve functies in elkaar

zitten. Ik kan dat illustreren aan de hand van de cognitieve architectuur van het menselijk taalvermogen (figuur 1). Wat gebeurt er nu precies bij het uitwisselen van informatie via taal? De luchttrillingen die ik produceer door te spreken, bereiken uw trommelvliezen, en daaruit distilleert u de boodschap die in de luchttrillingen vervat ligt. Dat vereist een reeks opeenvolgende stappen: het spraaksignaal moet worden opgeknipt in verschillende eenheden. Eerst moet het brein het continue geluidssignaal herkennen als spraak. Dan moet u daarin losse klanken en lettergrepen herkennen, waarmee u woorden uit uw geheugen kunt opdiepen en die in verband brengen met de voorafgaande woorden die u van mij gehoord heeft, en met andere informatie, zoals visuele. Dat alles leidt dan tot interpretatie: u heeft de boodschap begrepen.



Figuur 1: De cognitieve architectuur van het menselijk taalvermogen.

Zonder fosfor geen gedachten

Voor elk van de cognitieve functies, of het nu waarneming, taal of geheugen is, kunnen we dit soort blauwdrukken maken en uitvinden wat de verschillende cruciale componenten daarin zijn. De grondgedachte in het moderne hersenonderzoek is, dat er niet zoiets bestaat als een menselijke geest die los van het brein kan bestaan. Oftewel, zoals de filosoof Jacobus Moleschott (1822-1893) het pregnant samenvatte: 'Zonder fosfor geen gedachten.' Zonder hersenen is er geen geheugen, geen taal, geen waarneming, geen emotie en ook geen bewustzijn, en geloof, hoop en liefde al evenmin. Voor al die menselijke eigenschappen, handelingen en gevoelens is het brein de noodzakelijke voorwaarde. Als het brein ophoudt te werken, is ook de geest geweken. Geen hersenwetenschapper gelooft vandaag de dag nog in het dualisme tussen lichaam en ziel van Descartes.

Het idee dat cognitieve functies in het brein gelokaliseerd zijn bestaat ook allang. In de achttiende eeuw meende de Oostenrijkse arts Franz Joseph Gall (1758-1828) aan de buitenkant van de schedel te kunnen zien waar achter dat schedeldak verschillende functies waren gelokaliseerd. Dit heette de frenologie. Aan dat 'vakgebied' hebben we de woorden 'talenknobbel' en 'wiskundeknobbel' te danken. Gall dacht uit de vervormingen op de buitenkant van de schedel te kunnen afleiden welke hersenfunctie zich onder dat gedeelte bevond. Zo meende hij dat taal gelokaliseerd is achter het oog, omdat hij had opgemerkt dat leerlingen die buitengewoon goed waren in het voordragen van gedichten, uitpuilende ogen hadden. De gedachte van Gall is totaal fout gebleken wat in het nazi-tijdperk zelfs geleid heeft tot hele vervelende consequenties omdat mensen op grond van de uitslag van schedelmetingen werden geclassificeerd als *Uebermensch* of als *Untermensch*. Desalniettemin is de basisgedachte van Gall juist gebleken. Cognitieve functies zijn ergens in het brein gelokaliseerd.

Tegenwoordig kunnen we op een veel geavanceerdere manier in het brein kijken. Met de schets van de cognitieve architectuur, de blauwdruk, in de hand kijken hersenonderzoekers hoe al die verschillende

stapjes zijn geïmplementeerd in het brein. Dat is de crux van de moderne neuropsychologie: het vastknopen van de cognitieve architectuur aan de neurale architectuur.

'Wat' en 'waar'

Wat gebeurt er bijvoorbeeld wanneer u kijkt naar een foto van Marco Pantani, de begin 2004 overleden Italiaanse wielrenner, die de flanken van de Alpe d'Huez bestijgt? U neemt een wielrenner waar die u herkent, op een kleurige fiets en met een kaal hoofd. Over hoe dat bewuste beeld in uw brein gereconstrueerd wordt, is inmiddels een heleboel bekend. Het beeld dat op het netvlies in uw ogen valt, wordt doorgeschakeld naar het achterste gedeelte van het brein, de visuele schors. Dat deel is buitengewoon belangrijk voor visuele waarneming.

Als het signaal via een aantal tussenschakelstations in het achterhoofd is aangekomen, dan worden twee verschillende routes bewandeld. De eerste route registreert het 'wat': u moet de wielrenner als wielrenner herkennen en als Marco Pantani. Die route omvat bijvoorbeeld een station om kleur waar te nemen. De tweede route registreert het 'waar': u moet weten waar objecten zich in de ruimte bevinden. Als ik de foto van Pantani beter wil bekijken, moet ik die niet alleen als zodanig herkennen, maar moet ik ook mijn hand ernaartoe kunnen bewegen, zodat ik hem kan oppakken en hem naar mijn gezicht toebrengen. Het 'wat'-systeem loopt onderaan het brein van achteren naar voren, en het 'waar'-systeem loopt van achteren meer omhoog.

Iemand die een beschadiging heeft in het gebied dat voor het zien van kleur belangrijk is, zou bijvoorbeeld de kleurige bloemenpracht van de Keukenhof in grijstinten waarnemen. Een patiënt die iets hoger in het brein een beschadiging heeft, in beide hersenhelften, kan wel kleur waarnemen en objecten herkennen, maar geen beweging meer zien. Zo iemand kan bijvoorbeeld met het inschenken van een kopje koffie niet ophouden, omdat hij het vloeistofniveau in het koffiekopje niet ziet stijgen. Ook de straat oversteken is een probleem, omdat

een auto eerst ver weg, en dan plotseling dichtbij wordt waargenomen, maar de beweging die de auto daartussen maakt niet.

Tegenwoordig kunnen we dit soort routes van cognitieve functies in het brein niet alleen bestuderen aan de hand van patiënten, maar ook van het levende brein in actie. Met een MRI (Magnetic Resonance Imaging)-scanner kan het binnenste van het lichaam in beeld worden gebracht zonder dat het hoeft te worden geopend. Al na een minuut of tien scannen is een prachtig scherp beeld te verkrijgen van de structuren in het brein. Er kunnen dwarsdoorsneden gemaakt worden van de hersenen, van achteren naar voren, van links naar rechts en van boven naar beneden. Zo kan een beeld gevormd worden van de hersenen in drie dimensies.

Op zo'n driedimensionaal beeld is bijvoorbeeld de hersenbalk te zien die de beide hersenhelften met elkaar verbindt (figuur 2). Ook zijn de kleine hersenen zichtbaar, die van belang zijn voor de motoriek, de grijze stof die uit hersencellen bestaat en de witte stof die opgebouwd is uit de vezelbanen die tussen de hersencellen lopen, en die samen meer dan 100.000 kilometer beslaan. Het ruggenmerg, dat informatie uitwisselt met de rest van het lichaam, is ook te onderscheiden.



Figuur 2: Beeld van een dwarsdoorsnede van de hersenen, gemaakt met een MRI-scanner. 1: hersenbalk; 2: kleine hersenen; 3: grijze stof; 4: witte stof; 5: ruggenmerg.

Lange tijd is gedacht dat, nadat onze hersenen eenmaal gevormd en uitgerijpt waren, nauwelijks nog veranderingen mogelijk waren in het brein; beschadigingen in het brein zouden onherstelbaar zijn. Tegenwoordig blijkt uit hersenonderzoek dat hersenen toch meer plasticiteit vertonen dan gedacht werd. In een fraai onderzoek dat begin 2003 is gepubliceerd in het gezaghebbende wetenschappelijke tijdschrift *Nature* lieten onderzoekers mensen drie maanden lang met ballen jongleren. Die mensen hadden nooit eerder gejongleerd, maar leerden het tijdens de studie. De hersenstructuren die met jongleren te maken hadden, werden groter doordat de grijze stof toenam. Dit waren interessant genoeg niet de gebieden die te maken hebben met het opgooien van de ballen zelf, maar met bewegingswaarneming, met voorspellen waar de ballen terecht zouden komen. Na het stoppen met jongleren nam de omvang van die gebieden in de hersenen ook weer af. Met andere woorden: gebruik het of je raakt het kwijt, 'use it or lose it', zoals vaak gezegd wordt in het hersenonderzoek.

Een metroplattegrond van hersenfuncties

Naast de genoemde techniek om de plaats en grootte van een hersengebied te bestuderen, bestaan er ook manieren om te bekijken welke hersenstructuren actief worden bij het uitvoeren van een cognitieve functie. Als een bepaald deel van het brein harder gaat werken, dan heeft het meer zuurstof en meer glucose nodig; de lokale toevoer daarvan gaat via de bloedbaan en neemt dan toe indien een hersengebied harder werkt. Dat kunnen we zichtbaar maken door middel van Positron Emission Tomography (PET) en functionele MRI (fMRI).

Op die manier is bijvoorbeeld achterhaald welke hersengebieden actief worden bij het kijken naar iets. De informatie die wij onmiddellijk in ons bewustzijn waarnemen als we iets zien, wordt gereconstrueerd uit het samenwerken van een hele reeks gebieden. Op het moment dat signalen van de beelden die op ons netvlies vallen de visuele schors in het achterhoofd bereiken, worden die doorgestuurd naar een groot aantal hersengebieden, elk met zijn specifieke deel-

functie. Dat zijn de gebieden op de eerdergenoemde twee routes voor 'wat en 'waar', gebieden voor het herkennen als object, voor de waarneming van de kleur, de waarneming van de beweging en de waarneming van de ruimte waarin dat object zich bevindt. Er valt als het ware een soort metroplattegrond te maken waarop al die schakelstations en hun verbindingen zijn gespecificeerd.

Een probleem bij het maken van zo'n metroplattegrond is de vorm van de hersenen. Onze hersenen zijn opgevouwen als een prop papier: tweederde bevindt zich in de groeven van onze hersenen. Die groeven zijn een truc van Moeder Natuur om de hoeveelheid hersenmassa te laten toenemen zonder dat het hoofd groter hoeft te worden. Een groter hoofd zou problemen opleveren bij de passage door het geboortekanaal. Al die groeven maken het soms lastig om te zien waar de hersenactiviteit zit. Met behulp van een computer kunnen we die hersenmassa uitvouwen. Op die manier is het mogelijk nauwkeurig vast te stellen welk gebied in de hersenen actief wordt wanneer iemand bijvoorbeeld zijn tong beweegt, zijn vingers of zijn voeten.

De verschillende gebieden in het brein blijken niet speciaal toegestust te zijn voor één trucje, maar zij kunnen verschillende functies uitvoeren, afhankelijk van welke signalen zij aangeleverd krijgen. Niet alleen kan, zoals ik al vertelde, hersenweefsel toenemen wanneer het veelvuldig gebruikt wordt, er is ook functionele plasticiteit: de hersenactiviteit kan toenemen. Blinde mensen bijvoorbeeld krijgen geen signalen vanaf het netvlies aangeleverd naar de visuele schors achterin het hoofd. Hun ogen zien niets en geven dus ook geen informatie door aan dat gebied. Maar bij blinden zijn andere functies, zoals het verbale geheugen, vaak beter dan bij mensen die kunnen zien. Recent onderzoek heeft aangetoond dat hun visuele schors wordt ingezet voor de verbale geheugenfunctie.

Het geheugen

Een belangrijke cognitieve functie is het geheugen. Net als bij andere cognitieve functies kunnen we wel vertellen wat we uit ons geheugen

hebben opgehaald, maar niet hoe of vanuit welk gedeelte van ons brein. Bepaalde structuren in de slaapkwab, de hersengebieden die diep weggeborgen in het brein achter onze slapen liggen, zijn cruciaal voor onze herinnering. Die geheugenstructuren zijn bijvoorbeeld sterk aangetast bij patiënten met de ziekte van Alzheimer of andere geheugenstoornissen.

In de jaren vijftig werd door de neurochirurg William Scoville in Montreal, Canada, een operatie gedaan bij een patiënt die een buitengewoon zware vorm van epilepsie had. Hij nam in beide hersenhelften een structuur uit de slaapkwab weg om de epileptische aanvallen tot een einde te brengen, maar dat had onvoorziene, dramatische consequenties. De patiënt was niet langer in staat informatie in het geheugen op te slaan. Vijf minuten na een ontmoeting was de patiënt weer vergeten wie hij had ontmoet en begroette hij diezelfde persoon alsof hij hem nooit eerder had gezien.

Modern hersenonderzoek kan zichtbaar maken welke gebieden bij het geheugen betrokken zijn. In het F.C. Donderscentrum hebben wij onderzocht welke structuren in het brein van belang zijn voor de herinnering. Informatie wordt vaak samen met kenmerken uit de omgeving in het geheugen opgeslagen, zoals bijvoorbeeld de plaats waar iemand zich bevindt. Die kenmerken helpen om de informatie weer uit het geheugen op te halen. Wanneer iemand bijvoorbeeld heeft besloten een boek te pakken uit de boekenkast op de eerste verdieping, kan het gebeuren dat hij bovenaan de trap denkt: 'Wat ging ik ook alweer doen?' Als hij terugloopt naar beneden, weet hij het weer. De omgeving waarin hij stond toen hij die informatie opsloeg, helpt om het er ook weer uit te krijgen.

In het F.C. Donderscentrum is onderzoek gedaan naar de koppeling van voorwerp en plaats in het brein. De meeste mensen herkennen hun eigen fiets en weten ook waar ze die weer moeten terugvinden als ze hem ergens hebben gestald: voorwerp en plaats worden kenmerklijk gekoppeld opgeslagen in het geheugen. Wij wilden in het brein meten welke structuren van belang zijn bij het opslaan en weer ophalen

van voorwerpen en de plaats waar ze staan. Om erachter te komen welk *hersendeel* van belang is bij de koppeling van objecten en hun plaats, lieten onderzoekers proefpersonen per computer een virtueel museum doorwandelen. De opdracht was de volgende: U wordt gids in een museum met voorwerpen van beroemde Nederlanders. Alvorens u mensen het museum kunt rondleiden, moet u natuurlijk zelf die route doorgelopen hebben en precies weten wat waar staat. De proefpersonen kregen op hun route bijvoorbeeld het speelgoedvliegtuigje van Rob Oudkerk te zien, de knuffelbeer van Johan Cruijff en de dinosaurus van Balkenende. Vervolgens kregen ze die objecten te zien terwijl ze in de scanner lagen en dan moesten ze aangeven of dat object in het museum stond of niet.

Uit dit onderzoek kwam naar voren dat objecten die op plekken stonden waar een beslissing over de richting genomen moest worden, beter in het geheugen opgeslagen werden dan voorwerpen waarbij geen belangrijke markeringen van de ruimte beschikbaar was. In een speciale hersenstructuur, de *parahippocampale gyrus*, worden voorwerpen gekoppeld aan de plaats waar ze zich bevinden. Die structuur hebben we dus nodig om onze gestalde fiets weer terug te vinden, en het helpt kennelijk wanneer die fiets is neergezet op een plek met veel ruimtelijk informatie.

De menselijke taal

In mijn dagelijkse onderzoek houd ik mij het meest bezig met het menselijk taalvermogen. Het humane brein stelt ons in staat tot iets wat geen enkele diersoort ons nadoet: communiceren met elkaar via een buitengewoon ingewikkeld systeem van symbolen en regels: de menselijke taal. Met behulp van die taal kunnen wij boodschappen met elkaar uitwisselen. Hoewel er ook bij andere diersoorten communicatiesystemen zijn, lijkt geen enkele daarvan van dezelfde complexiteit, aard en omvang te zijn als van de menselijke talen die wij spreken.

De Nederlandse taal heeft zo'n 36 klanken, en combinaties van die klanken geven ons brein een lexicon van rond de zestigduizend woor-

den in het Nederlands. Hoe we met minimale klankveranderingen woorden met geheel verschillende betekenissen kunnen vormen, wordt prachtig duidelijk in een gedicht van Gerrit Kouwenaar:

Gedacht.

Je hand is bijna je hond.

Je huid is bijna je huis.

Je vorm is bijna je worm.

Je gedicht is bijna wat je gedacht had.

Mensen weten dus van ongeveer zestigduizend woorden hoe ze klinken, wat ze betekenen en vaak ook nog hoe ze geschreven worden. Ze kennen ook de syntactische eigenschappen van die woorden, bijvoorbeeld dat 'koe' een zelfstandig naamwoord is en 'loeien' een werkwoord. Die eigenschappen liggen bij elk van die woorden opgeslagen.

Bij het taalvermogen hoort ook het spreken. Dat vergt de aansturing van grofweg honderd spieren en is daarmee een van de meest complexe motorische vaardigheden waarover mensen beschikken. Ze doen het met een snelheid van twee tot drie woorden per seconde en maken daarbij slechts bij één op de duizend woorden een verspreking.

Versprekingen zijn buitengewoon illustratief: ze geven weer hoe het proces van spreken in elkaar zit. Ik zal een aantal voorbeelden geven van versprekingen die ik hoorde tijdens een avondje televisiekijken en radio luisteren. Een verspreking van de voorzitter van de politiebond: 'We moeten ook de boezem in eigen hand steken.' Een FNV-medewerker in het radioprogramma *Met het oog op morgen*: 'In lonen met lagere landen.' In die versprekingen wisselen de zelfstandige naamwoorden van plaats. Het interessante is dat het vrijwel nooit voorkomt bij een verspreking dat een zelfstandig naamwoord en een werkwoord van plaats wisselen: het zijn altijd woorden van hetzelfde type. Er lijkt dus een soort grammaticaal raamwerk te zijn waarbinnen die woorden moeten worden ingepast; verwisselingen kunnen dan plaatsvinden binnen dat raamwerk.

Hetzelfde soort bouwprocessen vindt plaats op woordniveau. Daar kun je verwisseling van klanken krijgen. Een verspreking van Jaap de Hoop Scheffer, nog van voordat hij secretaris-generaal van de NAVO werd, is bijvoorbeeld: '... de zaag hoog opneemt.' Die g-klank gaat als het ware voor zijn beurt, maar blijft wel netjes op dezelfde positie als waar hij vandaan komt. Een verspreking van nieuwslezer Harmen Siezen in het *Journal* luidde: 'Onder laud appluis.' De middenklank wisselt hier van plaats; het komt vrijwel nooit voor dat een eindklank verwisseld wordt met een middenklank. En om ook mijzelf niet helemaal van belachelijkheid uit te sluiten, hier nog een verspreking van mij persoonlijk: 'Een slipje van de tuic.'

Een samenspel van hersengebieden

De versprekingen maken duidelijk dat wij die woorden niet kant en klaar uit ons geheugen ophalen. Elke keer dat we een woord produceren, moeten we dat woord steeds opnieuw assembleren uit de klanken waaruit het bestaat. Alleen op die manier kunnen we dit soort versprekingen verklaren.

Om het snelle spreekproces tot stand te brengen, is een samenspel nodig van een groot aantal hersengebieden. Er zijn gebieden die te maken hebben met het ophalen van de woordbetekenissen, maar ook die te maken hebben met woordklanken, en er is een gebied dat van belang is om die woorden te articuleren. Alleen dat samenspel leidt uiteindelijk tot het ophalen en produceren van woorden. De dynamiek van de samenwerking kunnen we onder meer zichtbaar maken met behulp van Magneto-EncephaloGrafie (MEG). Die techniek stelt ons in staat met een nauwkeurigheid van honderdsten van seconden hersenactiviteit te meten. Daarmee kunnen we bijvoorbeeld zien dat de ene hersenhelft enkele tienden van milliseconden eerder actief wordt na het horen van een toon dan de andere hersenhelft.

Taal is meer dan het produceren en begrijpen van losse woorden. Een kernaspect is het combineren van woorden in welgevormde zinnen. Je moet het verband aanbrengen tussen die woorden, en daarvoor

zijn zogenaamde 'functiewoorden' van belang. Die geven de taal haar syntactische kenmerken. Een van onze onderzoeken richtte zich op de vraag hoe ons brein onderscheid maakt tussen functiewoorden en inhoudswoorden. Maakt ons brein dat onderscheid wel, en op welk moment dan?

Wij gaven onze deelnemers aan het onderzoek eenvoudige verhaaltjes te lezen van het volgende type:

Honderd jaar geleden was een fles ook al een gewoon en dagelijks voorwerp. Toch voelde de fles van ons verhaal zich bijzonder, want zij was een wijnfles. Trots keek zij naar de andere producten van de glasfabriek. Dat waren jampotjes en schalen en glazen. Zij was blij dat zij niet zo was, want wijn is toch heel anders dan jam.

Met behulp van elektroden op de schedel registreerden wij de elektrische hersenactiviteit terwijl onze proefpersonen deze verhalen lezen. We zagen dat gemiddeld al na een kwart seconde ons brein onderscheid heeft gemaakt tussen de inhoudswoorden (vetgedrukt) en de functiewoorden (niet cursief).

Bewustzijnscontroverses

Ik heb nu iets verteld over modern hersenonderzoek en hoe we daarmee grotendeels onbewust verlopende processen zichtbaar kunnen maken. Ergens in zo'n netwerk van opeenvolgende hersengebieden die actief worden, bijvoorbeeld bij het zien van iets, komt het moment waarop we weten dat we iets zien: het bewustzijn. Maar wat is bewustzijn precies?

Zoals gezegd kunnen we bewustzijn definiëren als een toestand van het brein waarover we kunnen rapporteren, en die met bepaalde gewaarwording gepaard gaat. Een gewaarwording van pijn, bijvoorbeeld, of het zien van rook. Maar soms denken mensen dat zich iets in het bewustzijn aandient wat er in feite niet is. Dat zijn hallucinaties.

Mensen met schizofrenie hebben bijvoorbeeld vaak auditieve hallucinaties: zij zeggen stemmen te horen. Wanneer we die mensen in de scanner laten plaatsnemen en we hun vragen om telkens wanneer ze een stem horen op een knopje te drukken, dan zien we dat op dat moment hersenactiviteit ontstaat in de primaire auditieve schors. Dat is het gebied in ons brein dat ervoor is om geluid en stemmen waar te nemen. Niet een stem, maar het brein zelf genereert bij deze mensen een signaal, en dat wordt op zichzelf adequaat geïnterpreteerd: de patiënt hoort stemmen. Dat signaal is in feite het probleem bij de patiënt, want het had er niet mogen zijn. Wat tot ons bewustzijn doordringt, is een uitkomst van hersenprocessen. Soms worden die hersenprocessen geactiveerd door informatie uit de omgeving, en soms door informatie die in het brein zelf gegenereerd wordt.

Als we spreken over het bewustzijn is het belangrijk om onderscheid te maken tussen twee vormen van bewustzijn. De Amerikaanse psycholoog en filosoof Ned Block heeft dat gedaan. Een vorm noemt hij *toegangsbewustzijn*. Dat is de toegang tot de uitkomst van iemands waarnemingsproces. Iemand kan bijvoorbeeld mededelen dat de wielrenner op de foto Marco Pantani is; dat is wat tot zijn bewustzijn is doorgedrongen. Of iemand kan informatie uit zijn geheugen ophalen en vertellen wat hij gisteren heeft gedaan. Het zijn processen waar we toegang toe hebben en waarover we mededelingen kunnen doen.

Een tweede vorm van bewustzijn noemt Block het *fenomenale bewustzijn*. Wat zich in mijn bewustzijn afspeelt, heeft een bepaalde fenomenale kwaliteit. De fenomenale kwaliteit van een persoonlijke ervaring, bijvoorbeeld pijn, is heel lastig te meten. We kunnen wel uitzoeken welke neuronen in de hersenen vuren bij de gewaarwording van pijn, maar de aard van de pijn die iemand voelt, die laat zich niet onmiddellijk afleiden uit het vuurpatroon van hersencellen. Hooguit kunnen we er een indruk van krijgen door bij een beschrijving van de pijn na te gaan of die eenzelfde soort kwaliteit heeft als de ervaring die we zelf hebben beleefd toen we pijn hadden.

Vooraf de status van het fenomenale bewustzijn heeft geleid tot een

groot aantal controverses, die tot op de dag van vandaag aanleiding geven tot stevige discussies in de filosofische vakliteratuur. Een van de controverses is die tussen het derdepersoonsperspectief versus het eerste persoonsperspectief. Het derdepersoonsperspectief is dat van de wetenschap: dat wat een onderzoeker kan meten in de hersenen, aan hersenactiviteit die samenhangt met iets waar bewustzijn de uitkomst van is. Het eerste persoonsperspectief, de subjectieve beleving van iets in iemands bewustzijn, is niet te meten. Is de essentie van bewustzijn nu dat we weten dat bepaalde hersentoestanden van belang zijn om bewustzijnstoestanden op te roepen? Of is het juist de persoonlijke gewaarwording?

Uiteindelijk moeten onderzoekers het eens zijn over wat zij onder bewustzijn verstaan, want anders wordt het lastig om er wetenschappelijk onderzoek naar te doen. Met de neurobiologische benadering kunnen we de hersenactiviteit meten die te maken heeft met het feit dat iemand zich van iets bewust wordt. Met die benadering kunnen we zoeken naar het neurale correlaat van het bewustzijn. Welke hersenactiviteit ligt er onder mijn gewaarwording, mijn bewuste gewaarwording van bijvoorbeeld iets als een foto van Marco Pantani, of het feit dat ik pijn voel? Die benadering heeft nationaal en internationaal de laatste tijd veel aandacht gekregen, en hierin is de meeste vooruitgang in geboekt. Op dezelfde manier waarop we erachter kunnen komen hoe onbewuste aspecten van functies als taal, geheugen, of aandacht in elkaar zitten, zo kunnen we ook onderzoeken wat de noodzakelijke voorwaarden zijn voor hersenprocessen om te leiden tot datgene waarvan men zich uiteindelijk bewust is.

Bewustzijnsvragen

Naast de persoonsperspectief-controverse zijn er veel andere bewustzijnsvragen waarop nog geen definitief antwoord te geven is. Waar is het bewustzijn bijvoorbeeld goed voor? Dat is lastig om precies te achterhalen. Het meeste van ons dagelijks handelen en onze hersenactiviteit heeft geen bewustzijn nodig om functioneel relevant te zijn en ef-

fectief te kunnen worden uitgevoerd. Sterker nog, wanneer wij ons van alle processen die in ons brein plaatsvinden bewust zouden zijn, dan zouden we niet meer in staat zijn om nog één handeling snel en efficiënt te kunnen uitvoeren. We zouden niet meer effectief op prikkels in de omgeving kunnen reageren. Zonder het onderbewustzijn zouden we derhalve niet kunnen functioneren; waar het bewustzijn dan eigenlijk goed voor is, blijft een nog niet adequaat beantwoorde vraag.

Hebben dieren een bewustzijn? Het zou kunnen dat bewustzijn sterk gekoppeld is aan het menselijk taalvermogen. Als dat zo is, dan zouden mensen wel bewustzijn hebben maar dieren niet. Dieren hebben wellicht wel – in ieder geval voor een deel – die fenomenale kwaliteit van het bewustzijn. Misschien niet op dezelfde manier als wij, maar ze hebben die ervaringsgewaarwording, bijvoorbeeld bij pijn. Het lijkt erop dat tenminste hogere zoogdieren vormen van bewustzijn hebben die weliswaar niet identiek zijn aan het menselijk bewustzijn, maar die toch ook niet zijn te omschrijven als iets totaal anders.

Hebben mensen altijd zelfbewustzijn gehad? Een soort 'zelf' dat is afgekaderd van de omgeving is in de optiek van de Amerikaanse psycholoog Julian Jaynes (1920-1997) een recente ontwikkeling in de menselijke cultuurgeschiedenis*. Hij maakt dat op uit het feit dat in oude geschriften, zoals het Griekse epos de *Ilias* van Homerus en de Bijbel, geschiedenissen en ervaringen te vinden zijn die vergelijkbaar zijn met wat we zien bij patiënten met hallucinaties. Goden vliegen in en uit, mensen worden continu aangestuurd door elementen die tijdelijk bezit nemen van het bewustzijn en zo hun gedrag sturen. Dat waren in die tijden totaal geaccepteerde verklaringen en ervaringen, beweert Jaynes. Vele oude culturen zouden niet zo'n strikte scheiding hebben gekend tussen hun 'zelf' en de omgeving; een zelfbewustzijn zoals wij dat kennen zou dus niet universeel zijn in de menselijke geschiedenis.

* J. Jaynes, *The Origin of Consciousness in the Breakdown of the Bicameral Mind*, (Houghton Mifflin), 1976, 1990, 2000

Kunnen we ooit bewuste robots maken? Bij de mens maakt een bepaald niveau van complexiteit in de structuur van de materie (het brein) bewustzijn mogelijk. Het kan heel goed zijn dat we dezelfde complexiteit in organisatiegraad kunnen bewerkstelligen in andere fysieke media. Zouden wij ooit in de verre toekomst in staat zijn om robots te bouwen die de complexiteit hebben van *Homo sapiens*, dan is een interessante, maar op dit moment niet te beantwoorden vraag: is het ook zo dat dergelijke robots dan ook bewustzijn zouden gaan vertonen? Dat zou dan samenhangen met die complexe organisatiegraad van de materie.

Het 'ik' en de vrije wil

Ingewikkelder vragen over het bewustzijn hebben te maken met het 'ik' en de vrije wil. Daar heeft ook niemand een definitief antwoord op, maar die vragen verleiden wel tot urenlang nadenken en filosoferen.

Zoals ik aan het begin van mijn lezing al aangaf, is het bewustzijn een uitzonderingstoestand. Het meeste dat zich in onze hersenen afspeelt, is ontoegankelijk voor het bewustzijn. Het is niet zo dat wij voortdurend bewuste beslissingen nemen, dat ons 'bewuste ik' besluit een kopje op te pakken en vervolgens de hersenmachinerie in werking zet die dan uiteindelijk uitvoert wat het 'ik' daarbinnen besloten heeft. Onze hersenen lijken niet te werken onder leiding van een soort dirigent voor het orkest die de maat slaat en zorgt dat elk lid van het orkest zijn partijtje meeblaast. Binnen de neurowetenschappen is een centrale instantie die we kunnen laten samenvallen met het 'ik' en die onze hersenprocessen aanstuurt, niet aangetroffen. Een dergelijk soort 'ik' is eerder een illusie dan dat het gebaseerd is op wetenschappelijke feiten.

Maar als er een dergelijk soort 'ik' er niet is, waar is dan ruimte voor de vrije wil? U heeft toch 'besloten' vanmorgen naar Paradiso in Amsterdam te komen. Dat heeft u uit vrije wil gedaan. Het feit dat u uw benen in beweging zette en de tram nam, of de auto, vloeit voort

uit die uit vrije wil genomen beslissing. Die zet als het ware het brein in werking. Maar als die notie van een soort centrale instantie in de hersenen problematisch is, dan is natuurlijk ook de notie van de vrije wil die daarmee samenhangt problematisch.

Als we het brein zien als een fysieke wereld waarin alles gedetermineerd is, is er überhaupt geen ruimte voor een vrije wil, want het gedrag is dan altijd een gevolg van oorzaken die in de fysieke termen van het brein te beschrijven zijn. Maar ook als de fysieke wereld niet volledig gedetermineerd is, dan schieten we daar niets mee op. We willen immers niet de vrije wil van de dobbelsteen, we willen kunnen zeggen: 'Ik bepaal wat mijn hersenen doen.' Maar als er tegelijkertijd niet een soort centrale dirigent in het orkest van ons brein aanwezig is, dan wordt het idee van een 'ik' dat ons gedrag bepaalt problematisch. Dan zou het zo zijn dat ons brein zich gedraagt en wij slechts de illusie hebben dat er een 'ik' is dat dat gedrag stuurt. En dat geeft, lijkt me, voldoende stof tot nadenken.

!