

Het Brein als Eureka-Machine

Prof. Dr. Frans Verstraten, Hoogleraar Psychonomie aan de Universiteit Utrecht

Prof. Dr. Leon Kenemans, Hoogleraar Biopsychologie en Psychofarmacologie aan de Universiteit Utrecht

Hogere cognitieve functies van het brein worden gezien als een product van de samenwerking tussen de hersengebieden die zich in grote mate hebben gespecialiseerd in bepaalde aspecten van de informatieverwerking. De vraag is hoe deze samenwerking verloopt en hoe de verschillende gebieden samen tot oplossingen komen. Wetenschappers kijken uit naar het moment dat ze 'Eureka!' mogen roepen. En wie weet is 'Eureka' wel het antwoord...

Het ligt eraan wie je het vraagt, maar het wordt ook wel 'the last frontier' van de wetenschap genoemd: het achterhalen hoe het brein werkt, liefst - en misschien wel noodzakelijk - met de biologische basis als uitgangspunt. Een aantal

interessante vragen is gemakkelijk geformuleerd: Hoe geeft het vuren van zenuwcellen aanleiding tot bewustzijn? Hoe kan deze met bewustzijn geassocieerde activiteit op haar beurt weer invloed uitoefenen op het vuren van dezelfde of andere neuronen? Hoe slaan we relevante (en irrelevante) informatie op in een brij van cellen? Hoe halen we deze informatie weer tevoorschijn en - zeker zo interessant - hoe weten we zo zeker dat we bepaalde informatie niet in ons brein hebben ('Nee, deze persoon heb ik nooit gezien!')?

Menig wetenschapper is er niet zeker van dat deze vragen hun antwoorden zullen krijgen. Sommigen betwijfelen zelfs of een verklaring op neuronaal niveau überhaupt interessant is: moet je wel meten aan het brein om te weten hoe het brein werkt? In weerwil van deze twijfel zijn er momenteel duidelijke indicaties dat deze 'cognitief-neurowetenschappelijke' benadering wel eens erg vruchtbaar zou kunnen zijn.

Functionele segregatie

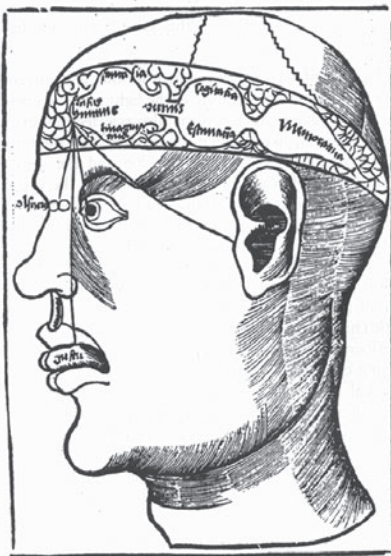
De geschiedenis in vogelvlucht leert ons dat de ontdekking van de ventrikels (de met vloeistof gevulde kamers in onze hersenen) in de derde eeuw voor onze moderne jaartelling later resulteerde in de zogenaamde 'cell doctrine'. Kamers en cellen impliceren afgebakende ruimtes en het idee ontstond dat bepaalde functies

van ons brein wel eens gelokaliseerd zouden kunnen zijn op bepaalde plaatsen in datzelfde brein. Later werd duidelijk dat juist de massa om deze kamers heen veel belangrijker is. Toch bleven wetenschappelijke vondsten zoals specifieke taalgebieden door Broca en Wernicke het idee van functionele segregatie ondersteunen. Deze zoektocht naar locaties leidde overigens ook tot de nu enigszins bizar aandoende 'frenologie', ofwel de knobbeleer, waarbinnen verondersteld werd dat goed ontwikkelde functies lokaliseerbaar waren door de schedel af te tasten, denk aan de 'wiskundeknobbel'.

Dit idee van functionele segregatie, hersengebieden met een specifieke taak, kreeg in de tweede helft van de vorige eeuw een impuls door het onderzoek van de latere Nobelprijswinnaars David Hubel en Torsten Wiesel. Uit metingen van de vuurfrequenties van neuronen achter in de hersenen, bleek dat deze in veel gevallen een bijzonder specifieke afstelling hebben. Bepaalde cellen reageerden bijvoorbeeld enkel op een lijntje met een specifieke oriëntatie als dat zich bewoog in een specifieke richting. Deze elektrofysiologische data zijn afkomstig van metingen aan individuele neuronen of aan kleine groepen neuronen en hebben belangrijke informatie opgeleverd over het functioneren van individuele neuronen. Echter, dit soort onderzoek is minder geschikt om andere vragen te beantwoorden. Denk daarbij aan vragen over de manier waarop neuronen, en vooral grote groepen neuronen, in ver uit elkaar gelegen gebieden met elkaar communiceren. Daarvoor zouden tegelijkertijd verschillende afleidingen in verschillende gebieden moeten worden gedaan en dat is in het verleden erg moeilijk gebleken. Daarbij komt dan nog het probleem dat het aantal neuronen waaraan afleidingen wordt gedaan (de steekproef) vaak klein is. Een ook niet onbelangrijk detail is dat dit onderzoek om evidente redenen niet op grote schaal bij mensen kan worden uitgevoerd.

Aan deze bezwaren wordt voor een deel tegemoet gekomen door het gebruik van recent ontwikkelde neuroimaging technieken. In eerste instantie zijn deze gebruikt om bij mensen de functies vast te stellen van afgebakende hersengebieden (in de orde van enkele kubieke millimeters). Inmiddels zijn bijna alle cognitieve neurowetenschappers ervan overtuigd dat er gespecialiseerde gebieden zijn met heel specifieke taken. Zo

LIBER DECIMVS TRACT. II.



De 'drie cellen' doctrine volgens Gregor Reish (1503). Drie kamers worden onderscheiden. De eerste (meest linkse) kamer is de locatie waar de sensorische informatie aan zou komen. De tweede symboliseert onze CPU, het werkgeheugen, onze cognitie. De laatste kamer zou het lange termijn geheugen bevatten.

lijken we een gebied te hebben dat vooral op gezichten reageert, het zogenaamde fusiforme gezichtsgebied¹. Tevens is echter de algemene opvatting dat het zoeken naar specialistische gebieden niet zaligmakend is. Het is dan ook al aangeduid met de term 'hedendaagse frenologie'. Anderzijds moeten we ook niet te negatief zijn. Je kunt immers niet achterhalen hoe een motor loopt als de onderdelen niet bekend zijn.

Functionele integratie

Vele hersengebieden, hoe gespecialiseerd ook, moeten met elkaar in verbinding staan. De aan- en afvoer van informatie is een voor de hand liggende reden, maar er kan ook gedacht worden aan het oplossen van problemen die zo complex zijn dat meerdere gebieden dienen samen te werken. Dit laatste is erg belangrijk. Zoals gezegd, iedereen weet dat er gespecialiseerde gebieden zijn. Er zijn echter ook taken voor het brein - en daarbij denken we vooral aan de hogere orde cognitieve taken - die enkel kunnen worden volbracht als de gebieden samenwerken. Het product kan dan alleen bestaan bij de gratie van die samenwerking; dit heet functionele integratie.

Het idee van verbindingen wordt ook wel aangeduid met de term connectiviteit. Connecties blootleggen gaat via het principe 'if they wire together, they should fire together'. Met andere woorden: neuronen die een gecorreleerd activatiepatroon laten zien, zijn met grote waarschijnlijkheid met elkaar verbonden. Om te achterhalen hoe deze verbindingen precies lopen wordt het verhaal complexer. Je kunt verbindingen niet altijd even makkelijk in kaart brengen en onderscheiden. Activiteit op locatie C kan worden veroorzaakt door een directe verbinding met locatie A. De activiteit kan echter ook van A, via B, bij C terecht komen. In een derde geval kan de activiteit van zowel A als C van bron B komen. De vraag is nu hoe deze verbindingen zijn te achterhalen.

De 'best of n worlds' benadering

We hebben al gezien dat de elektrofysiologie een aantal vragen kan beantwoorden, maar tot op heden minder inzicht verschaft in hoe gebieden met elkaar samenwerken. Wat dat betreft zijn er gelukkig een aantal methoden in - zo gebiedt de eerlijkheid te vermelden - ontwikkeling, die veel potentie hebben. Vooral de reeds genoemde neuroimaging technieken hebben de laatste 10 jaar een snelle ontwikkeling doorgemaakt. Dit geldt zeker ook voor de manieren van analyse van neuroimaging data.

De twee meest gebruikte technieken heten functionele magnetische resonantie imaging (fMRI) en positron emission tomography (PET). Het zijn mooie technieken om 'in vivo' beelden te verkrijgen van het brein in actie. Beide zijn gebaseerd op zogenaamde hemodynamische signalen. Dergelijke signalen weerspiegelen veranderingen in de mate van doorbloeding van de hersenen. Kort door de bocht betekent dit dat een gebied dat zich vooral heeft ontwikkeld voor het uitvoeren van een bepaalde taak, activiteit zal vertonen. Activiteit kost energie en

deze energie wordt door het bloed aangeleverd. En dat is op verschillende manieren meetbaar².

Andere technieken zijn gebaseerd op het direct meten (door de schedel heen) van de elektromagnetische component van neurale activiteit. Voorbeelden zijn het elektro-encefalogram (EEG), reacties op een externe prikkel in het EEG (de zogenaamde event-related potentials of ERPs), en de magnetische tegenhanger daarvan, het magneto-encefalogram (MEG).

Om nu inzicht te krijgen in de verbindingen tussen de gebieden moet de gekozen techniek liefst aan twee voorwaarden voldoen. Op de eerste plaats is een hoge spatiële resolutie belangrijk. Met andere woorden: gebieden moeten met een zo hoog mogelijke nauwkeurigheid kunnen worden gelokaliseerd. Een tweede voorwaarde is een hoge temporele resolutie. Dit is nodig om inzicht te krijgen in de 'wanneer wordt het actief' vraag en later in de 'wanneer ten opzichte van het actief worden van andere gebieden' vraag. Het gehoopte resultaat is inzicht in de richting van de informatiestromen en daarvoor moet er nauwkeurig in de tijd kunnen worden gemeten.

Een probleem is dat geen van de huidige technieken die eigenschappen bezit. fMRI heeft bijvoorbeeld een aardig oplossend vermogen in de ruimte (de eerder genoemde kubieke millimeters), maar veel minder in de tijd; voorlopig moet men denken in de orde van seconden³. EEG is snel in de tijd (milliseconden) maar heeft veel last van verstoringen, wat uiteindelijk leidt tot middeling of uitsmering van het signaal. Daardoor wordt het moeilijk om een precieze locatie aan te wijzen. De oplossing lijkt voor de hand te liggen, namelijk een combinatie van technieken die elkaar aanvullen (er zijn er nog meer dan de genoemde; zo krijgen we de 'best of n worlds'). Dit besef is breed doorgedrongen, maar zoals gewoonlijk liggen er een aantal problemen op de loer. Stel dat we fMRI met EEG/ERP willen combineren. Dan hebben we twee datasets die in dezelfde condities gemeten zijn, één met een hoge spatiële resolutie en één met een hoge temporele resolutie. Samen sterk dus, zou je zeggen. Een probleem is echter dat, ofschoon fMRI en EEG aan hetzelfde orgaan meten, ze nochtans zeer verschillende processen in dat orgaan oppikken. De grote vraag is dan welk stuk van het fMRI-signaal hoort bij welk stuk van het EEG-signaal. Eén manier om hiermee om te gaan is om de schatting van waar uit het hoofd, op een zeker tijdstip, het EEG-signaal vandaan komt, te laten sturen door de fMRI-data.

Op die manier wordt het mogelijk om onderzoek te doen naar ruimte-tijd karakteristieken van het brein. Wat voor soort experimenten zouden inzicht kunnen geven in de verbindingen tussen de gebieden en vooral in hoe de informatiestromen lopen? Een manier om hiernaar te kijken zijn plotselinge veranderingen in hersenactiviteit, zodanig dat er op verschillende momenten andere gebieden - liefst ver van elkaar gelegen - actief zijn; dat betekent immers dat informatiestromen veranderen. Hoe moet men zich dit voorstellen?

Eureka

Het verhaal is bekend: Terwijl hij een bad nam, realiseerde Archimedes (287-212 v. Chr.) zich dat de opwaartse kracht op een voorwerp in vloeistoffen gelijk is aan het gewicht van de verplaatste vloeistof. Uitzonderlijk blij met zijn ontdekking moet hij naakt rond hebben gerend, waarbij hij riep 'Eureka!': 'Ik heb het gevonden!' Hoewel Galileo de waarheid van dit verhaal betwijfelde⁴, is het 'Eureka' gevoel, ook wel bekend als een 'aha-beleving' erg interessant voor de vraag hoe het brein functioneert.

Het interessante is dat er minstens twee fasen te onderscheiden zijn: Voordat het probleem is opgelost, en na het moment van 'Eureka' of 'Aha'. Eureka zou moeten leiden tot veranderingen in de activiteit van het brein, het probleem is immers geklaard (een nadere uitleg aan de hand van een alledaags voorbeeld volgt hieronder).

Deze Eureka-benadering is interessant omdat het brein eigenlijk een grote probleemoplosser is. Neem bijvoorbeeld visueel waarnemen: licht dat weerkaatst wordt van objecten resulteert in een luminantieverdeling die via het netvlies naar het brein wordt gestuurd. Met deze verdeling moet het brein het aanvankelijk doen en opkomen met een interpretatie. Hoewel het lijkt alsof dit automatisch gebeurt - we denken de wereld immers doorgaans als constant te zien - moet het toch een proces zijn waar wat rekenwerk bij komt kijken.

Een groot probleem is dat de oplossing wel heel snel wordt gevonden. Dat maakt het moeilijk om het onderliggende proces te bestuderen. Ofschoon het niet helemaal vergelijkbaar is met alledaags waarnemen, zijn er manieren om bepaalde processen te vertragen.

Get the picture

Een alledaags voorbeeld van het brein als probleemoplosser vinden we in 'Get the picture'. In dit tv-programma wordt een foto van een voorwerp of persoon afgedekt door een aantal vensters. Iedere keer als de kandidaat een vraag goed heeft beantwoord, wordt er een venster geopend. De taak is vervolgens om zo snel mogelijk te achterhalen wie of wat er achter de vensters schuilgaat. Als er een aantal vensters open zijn realiseert de kandidaat zich op een gegeven moment wat het voorwerp is: het 'aha-moment' ofwel 'Eureka!'.⁵

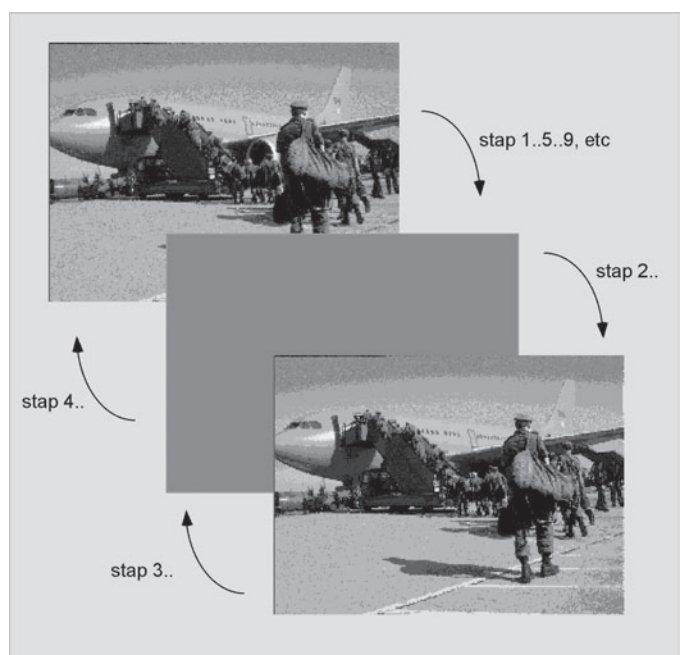
Inmiddels is het 'Get the picture' experiment ook in de fMRI-scanner gedaan⁵. En inderdaad: voorafgaande aan de herkenning van woorden en gezichten waren er gebieden actief, die hun activiteit verloren op het moment dat de herkenning plaatsvond. Na de herkenning waren andere gebieden actief, bijvoorbeeld 'visuele' gebieden die betrokken zijn bij de waarneming van gezichten. Voor het Eureka-moment hebben we kennelijk te maken met gebieden die in heel algemene zin bijdragen aan het oplossen van visuele problemen. Hoewel de experimenten nog steeds lopen zijn er ook indicaties dat de verschillende gebieden al met elkaar communiceren voordat de proefpersoon zich bewust wordt van de oplossing.

Het hoeft geen betoog dat met behulp van dergelijke cognitief-wetenschappelijke methoden unieke inzichten kunnen worden verkregen over hoe het brein problemen oplost: niet alleen kan worden vastgesteld waar in het brein dit gebeurt, maar ook hoe die gebieden elkaar afwisselen en met elkaar samenwerken. Een volgende stap zou zijn om te onderzoeken hoe de informatiestromen tussen de gebieden lopen. Daartoe is echter meer temporeel oplossend vermogen voor nodig, zoals dat beschikbaar is in bijvoorbeeld het EEG. Verder zouden dit soort experimenten ook wel eens inzicht kunnen geven in een van de interessantste vragen, die naar het functioneren van bewustzijn.

Blind voor verandering

Vaak denkt de waarnemer dat de wereld zich als het ware opdringt. Je hoeft je ogen maar te openen en je ziet de buitenwereld. De laatste jaren is er een hype ontstaan over een verschijnsel dat bekend is geworden als veranderingsblindheid ('change blindness'⁶). In een typisch experiment worden twee plaatjes in de tijd afgewisseld. De plaatjes zijn hetzelfde, op één detail na. De taak van de proefpersoon is te ontdekken wat er verandert. Het grijze vlak na elke presentatie van een plaatje is nodig om te voorkomen dat de verandering op basis van bewegingsdetectie kan worden waargenomen. De verandering is steeds dezelfde, maar blijkt moeilijk te vinden. Het duurt minuten en soms wordt het verschil niet eens opgemerkt. Voorwaar, een pittig probleem dus voor het brein.

Dit aardige fenomeen zegt op zich weinig over hoe onze hersenen werken. We weten al lang dat we de wereld niet in al haar details opnemen, denk bijvoorbeeld aan het oude spel



*Zoek het verschil!*⁷

‘ik zie, ik zie, wat jij niet ziet!’. Ook hoefden we anders nooit te zoeken of afspraken te maken over waar iets te vinden is, zoals bijvoorbeeld geldt voor de hoogte en plaats van verkeersborden. Als we in dergelijke situaties gaan meten aan het brein, lijkt het erop dat het brein wel weet dat er iets verandert, zelfs op het moment dat de proefpersoon zich nog niet bewust is van het verschil. Uit ERP-onderzoek is gebleken dat er zowel in het visuele als in het auditieve systeem een gebiedje is dat alleen actief wordt als er iets afwijkt in een homogene stroom van informatie⁸. Dit gebeurt zo’n 100 milliseconden na de afwijking en lijkt nauwelijks gevoelig voor bewuste controle. Andere gebieden in het visuele systeem worden al eerder actief (vanaf 40 milliseconden); deze activiteit wordt alleen bepaald door de aard van de informatie (bijvoorbeeld een groot versus een klein object), en totaal niet door de context.

Gorilla? Welke Gorilla?

De situatie is als volgt: Er staan twee teams van drie spelers in een ruimte. Het ene team is gekleed in witte kleren en het andere team draagt een zwarte outfit. Ieder team heeft een bal en de taak is de bal naar de gelijk gekleurde teamleden over te gooien terwijl beide teams door elkaar bewegen. In een typisch experiment wordt deze video-opname aan een groep proefpersonen aangeboden. De taak die de proefpersonen krijgen is precies te tellen hoeveel keer in het witte team de bal van hand wisselt. Na de 30 seconden dat de video duurt wordt dit aantal gevraagd. De meeste proefpersonen die zich goed kunnen concentreren hebben geen moeite om het aantal keren dat de bal wordt overgegooid te tellen. Als de proefpersonen gevraagd wordt of ze verder nog iets is opgevallen, antwoordt een meerderheid van de deelnemers negatief. Als ze vervolgens de video nogmaals bekijken, ditmaal zonder een aandacht vereisende taak, zien ze wat ze gemist hebben. Een man in een zwart gorillapak loopt langzaam door het beeld, klopt zich even flink op de borst, en loopt vervolgens het beeld weer uit.

Er is geen twijfel dat de aangeboden stimulus op ons netvlies belandt en dat de eerste fasen van de informatieverwerking zich gewoon voltrekken. Wat er later in het brein gebeurt is minder duidelijk. Zorgt het gericht kijken, dat wil zeggen, het selectief richten van aandacht ervoor dat er al vroeg op het pad van visuele informatieverwerking geselecteerd wordt tussen dat wat wel en dat wat niet verwerkt wordt? Of is de informatie wel verwerkt tot op hoog niveau maar niet toegelaten tot het bewustzijn? Een manier om dit te onderzoeken is door te kijken of specifieke gebieden in de hersenen activiteit vertonen. In bovenstaand voorbeeld zouden we, naar analogie van het gezichtgebied, moeten kunnen kijken naar een gorillagebied. Een dergelijk gebied is echter nog niet geïdentificeerd, en bestaat waarschijnlijk ook niet in die specifieke zin. Daarentegen is het al langer bekend dat er een specifiek gebied is in de achterste helft van onze hersenen (visueel gebied 5 of V5) dat actief moet zijn om beweging te kunnen waarnemen. De Britse onderzoeker Rees en zijn collega’s lieten proefpersonen

een taak uitvoeren met woorden die in het midden van het visuele veld werden aangeboden⁹. Tegelijkertijd was om de woorden heen een bewegend patroon van stippen te zien. Deze beweging leidde tot activiteit in V5. Naarmate de woordentaak echter moeilijker werd gemaakt, riep hetzelfde bewegende patroon minder activiteit op in V5. Op die manier realiseert het brein dus selectiviteit in de waarneming: door een gebied dat noodzakelijk is voor een bepaald soort waarneming minder reactief te maken.

Dat laatste lijkt eenvoudiger dan het is, want wat zorgt er nu precies voor dat V5 minder reactief is? Het zou heel goed kunnen dat dit het gevolg is van signalen uit andere gebieden, die op hun beurt weer geactiveerd worden door de instructie van de proefleider dat het bewegende patroon genegeerd moet worden. Het probleem dat het brein hier moet oplossen is dat van de ‘cognitieve controle’. Er zitten als het ware een aantal gespecialiseerde versterkers in onze hoofden, waarvan er één beweging versterkt, een tweede gezichten, een derde woorden, enzovoort. Cognitieve controle zorgt ervoor dat op al die versterkers de knoppen worden ingesteld op een manier die optimaal is voor de uit te voeren taak (‘doe iets met de woorden, negeer de beweging’). Het is evident dat het probleem van cognitieve controle alleen opgelost kan worden door communicatie tussen verschillende hersengebieden. Onderzoek naar cognitieve controle zou dan ook bij uitstek gebruik moeten maken van methodes om die communicatie direct in beeld te brengen.

Wat is nu de relatie tussen cognitieve controle en de effecten daarvan op specifieke hersenactiviteit enerzijds, en dat wat we bewust waarnemen anderzijds? In de hierboven besproken proef gebeurde, naast de vermindering van V5-activiteit als de woordentaak moeilijker werd, nog iets anders. Dit betrof het na-effect (‘aftereffect’) dat ontstond op het moment dat de beweging van de stippen ophield (denk aan de bekende ‘waterval-illusie’: op het moment dat een filmpje van een waterval stil gezet wordt, ontstaat er een na-effect van naar boven bewegend water). De waargenomen duur van het nabeeld voor de bewegende stippen werd korter naarmate de woordentaak moeilijker werd. Om het verhaal compleet te maken: er zijn duidelijke aanwijzingen dat dergelijke na-effecten ten minste ten dele berusten op de activiteit van neuronen in V5. Kortom: cognitieve controle kan activiteit in bepaalde hersengebieden moduleren, en daarmee ook wat wij uiteindelijk waarnemen.

(Nabije) toekomst

Dit waren een paar voorbeelden van onderzoek, die ons inzicht lijken te verschaffen in de organisatie en werking van ons brein. Uiteraard zijn dit nog maar de eerste stappen en er nog veel meer vragen dan antwoorden. We weten niet precies of de ingeslagen weg de juiste zal blijken. Veel zal afhangen van hoe de technieken om deze tijd-ruimte aspecten in beeld te brengen zich zullen ontwikkelen.

De vraag die altijd weer gesteld dient te worden is die naar

wat het ons zal opleveren. Gaat het in kaart brengen van de verbindingen tussen de verschillende gebieden ons iets vertellen over hoe het brein werkt? We hopen uiteraard van wel, maar gelukkig zijn ook andere antwoorden interessant. Zo weten we dat bepaalde patiënten, zoals schizofrenen, problemen hebben met connectiviteit. Met andere woorden: bepaalde ‘bekabeling’ in het brein lijkt minder aanwezig te zijn¹⁰. Ook ontwikkelingspsychologische problemen zouden wel eens terug te voeren kunnen zijn op problemen met de connecties tussen gebieden. Het is niet onwaarschijnlijk dat iedereen er vroeger of later mee te maken krijgt: In de onderzoeksliteratuur over normale en abnormale veroudering is het idee dat connectiviteit vermindert met de leeftijd al sinds jaar en dag dominant. De opdracht zal zijn om voor uiteenlopende psychologische functies, populaties en pathologieën de specifieke en minder specifieke netwerken van communicerende gebieden in kaart te brengen. Het hierboven besproken onderzoek lijkt een eerste stap in de goede richting.

1. Kanwisher, N., McDermott, J., Chun, M.M. (1997). The fusiform face area: A module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *Journal of Neuroscience*, 17, 4302-4311. De specificiteit van dit gezichtgebied staat inmiddels echter ter discussie.
2. Een toegankelijke inleiding in de onderliggende principes van deze technieken geschreven door Peter Hagoort en Nick Ramsey zijn te vinden in hoofdstuk 2 van het boek *Het brein te kijk: een verkenning van de cognitieve neurowetenschappen*. Frank Wijnen en Frans Verstraten (red). Lisse: Swets & Zeitlinger, 260 p. ISBN: 90 265 1676 2 (pbk. 2001).
3. Er zijn wat manieren om de temporele resolutie te verhogen. Een voorbeeld is het gebruik van Event-related designs (zie bijvoorbeeld, Josephs, O., Turner, R., & Friston, K. (1997). Event-Related fMRI. *Human Brain Mapping*, 5, 243-248. Recentelijk zijn temporele resoluties bereikt in de orde van 100 msec.
4. Galilei, Galileo (1605/1961) *Galileo and the Scientific Revolution* [La bilancetta], L. Fermi and G. Bernadini, trans., C.S. Smith, New York, 1961.
5. Carlson, T., He, S., Zhuang, J.C., Hu, X. Andresen, D., & Verstraten, F.A.J. (2001). Eureka! Functional imaging analysis of visual problem solving for words and faces?. *Journal of Cognitive Neuroscience*, S13, 15
6. Zie bijvoorbeeld Verstraten, F.A.J. & Theeuwes, J. (2002). Blind voor verandering. *Natuur & Techniek*, 70, 36-39
7. De motor verdwijnt en komt weer terug
8. Kenemans, J.L., Grent-‘t Jong, T., & Verbaten, M.N. (2003). Detection of visual change: mismatch or rareness? *NeuroReport*, 14, 1239-1242.
9. Rees, G., Frith, C.D., & Lavie, N. (1997). Modulating irrelevant motion perception by varying attentional load in an unrelated task. *Science*, 278, 1616-1619.
10. Friston, K.J., & Frith, C.D. (1995). Schizophrenia: a disconnection syndrome? *Clinical Neuroscience*, 3, 89-97.