

Beelden van het Brein



Samenvatting
STT 73

vergezichten en toepassingen van
de hersenwetenschappen binnen
voeding, mens-machine interfaces,
onderwijs en justitie



Ira van Keulen

Stichting
Toekomstbeeld
der Techniek



DRYNA kennisgeving
verandering onderzoek
debat
techniek & science

Rathenau Instituut

Beelden van het Brein

Vergezichten en toepassingen van
de hersenwetenschappen binnen
voeding, mens-machine-interfaces,
onderwijs en justitie



Inhoud

Voorwoord	4
1 Inleiding	7
2 Nutricognitie	10
Neurowetenschappelijke toepassingen in voeding	
2.1 Brain food	11
2.2 Overgewicht	13
2.3 Productontwikkeling	16
3 Neuro-centred design	17
Neurowetenschappelijke toepassingen voor interfaces tussen mens en machine	
3.1 Brein-machine interfaces	19
3.2 Neuro-ergonomie: conventionele interfaces verbeteren	22
3.3 Neuromimicry	24
3.4 Diverse interfaces	26
4 Onderwijs op maat	28
Neurowetenschappelijke toepassingen voor het onderwijs	
4.1 Individuele verschillen	29
4.2 Motivatie	34
4.3 Diverse voorbeelden	36
5 Evidence-based rechtspraak	39
Neurowetenschappelijke toepassingen voor de justitiepraktijk	
5.1 Het geheugen	40
5.2 Vrije wil en verantwoordelijkheid	43
5.3 Neurowetenschappelijk bewijs	45
6 De voortgang in de neuro- en cognitieve wetenschappen	47
7 Kansen voor de toegepaste neuro- en cognitieve wetenschappen	50
7.1 Een brede invloed op de samenleving	51
7.2 Hoge verwachtingen van de hersenwetenschappen	53
7.3 Interdisciplinair onderzoek	56
7.4 Transdisciplinair onderzoek	59
7.5 Ethische, maatschappelijke en juridische agenda	65
Literatuur	70

Voorwoord

“The brain struggling to understand the brain is society trying to understand itself”¹

De achterliggende gedachte achter dit citaat van de bekende Britse neurobioloog Colin Blakemore is dat het bestuderen van onze eigen hersenen gelijk staat aan het bestuderen van onszelf, onze gedachten en ons gedrag. Zijn veronderstelling

is: hoe meer we weten over de hersenen, hoe beter we onze samenleving kunnen begrijpen. In andere woorden: wij zijn ons brein. Hoewel er in de jaren zeventig en tachtig vaak maatschappelijk protest ontstond als gedrag neurobiologisch verklaard werd – denk aan homoseksualiteit (het ‘kwabje van Swaab’) of criminaliteit (de affaire Buikhuisen) – is de publieke opinie inmiddels totaal omgeslagen. Tegenwoordig omarmen het publiek en de media het hersenonderzoek dat pubergedrag, verslaving, racisme, muzikaliteit en de liefde in neurobiologische termen uiteen weet te zetten. Populairwetenschappelijke boeken gaan als warme broodjes over de toonbank. Iedere krant, week- of maandblad bevat altijd wel een artikel met het laatste nieuws uit het hersenonderzoek. Het brein is zonder meer hot.

Paradoxaal genoeg, zullen veel neurowetenschappers aangeven dat hun wetenschapsveld – ondanks alle publieke aandacht die zij nu krijgt en zelf creëert – nog maar in de kinderschoenen staat. Dat is niet zo vreemd, want de hersenen zijn het meest complexe systeem op aarde. De schatting is dat we 10^{10} neuronen in ons brein hebben en dat er 10^{14} verbindingen tussen die neuronen bestaan. We hebben dus meer verbindingen in onze bovenkamer dan er mensen zijn op aarde. Maar hoe al die cellen en hun verbindingen uiteindelijk leiden tot gedrag, is nog onduidelijk. De hersenwetenschap heeft nog geen *grand theory* kunnen ontwikkelen over hoe dit complexe systeem eigenlijk werkt. Het veld is tot op heden vooral een experimenteel, technologie gedreven discipline zonder een lange traditie in theoretische modellen. Nieuwe technologieën zoals patch-clamp en neuro-imaging hebben vooral veel data opgeleverd, maar nog weinig theorie. Daar zal ongetwijfeld verandering in komen, gezien de groei in menskracht en onderzoeksgelden die het veld momenteel kent.

De neurowetenschappen balanceren op een dunne lijn – zoals zoveel snel ontwikkelende wetenschapsvelden voor hen, denk aan de genetica – tussen het creëren en temperen van hoge verwachtingen vanuit de maatschappij. Hypes genereren onderzoeksfinanciering, maar als het te lang duurt voordat de verwachtingen kunnen worden waargemaakt, dan kan de publieke opinie zich tegen je keren en de geldbron opdrogen. Dat gebeurde bijvoorbeeld in de tweede helft van de jaren zeventig en tachtig bij artificiële intelligentie (AI). Insiders spraken daar zelfs van een AI winter. Hopelijk zal een dergelijke koude tegenwind de neurowetenschappen bespaard blijven. Zolang neurowetenschappers elkaar onderling kritisch blijven volgen – ook en plein public – en andere wetenschappers de discussie over de betekenis en het nut van hersenwetenschappelijk onderzoek blijven aanzwengelen, zal het wel meevallen. Zo is het laatste woord – als het aan de filosofen, sociologen en zelfs psychologen ligt – nog niet gesproken over de vraag of wij niet alleen een brein hebben, maar het ook daadwerkelijk zijn. Net zo min is het laatste woord gezegd over de illusie van

de menselijke vrije wil (gebaseerd op de hypothese dat het brein als belangrijkste bestuurder van ons gedrag werkt als een automaat) of over het nut van neurowetenschappelijke kennis voor de praktijk van de psycholoog. Recentelijk sprak een hoogleraar psychologie in het NRC Handelsblad nog zijn ongenoegen uit over het stempel die de neurowetenschap tegenwoordig op de psychologie drukt. “Ze [psychologie studenten] zijn verworpen tot goudzoekers in het brein in plaats van wetenschappelijk getraind in het opstellen van rationele, zoveel mogelijk toetsbare theorieën over psychische patronen.”

Het boekje dat u nu in handen heeft probeert net als de neurowetenschappen zelf het smalle pad tussen hype en hoop, droom en daad, te bewandelen. Het is een samenvatting van de belangrijkste bevindingen van het Engelstalige eindrapport² van de toekomstverkenning Beelden van het brein van Stichting Toekomstbeeld der Techniek. Een transdisciplinair project opgezet conform de uitspraak van computerexpert en bedenker van de laptop, Alan Kay: “*The best way to predict the future, is to create it.*” In deze driejarige toekomstverkenning – gestart in 2005 – kwamen Nederlandse neuro- en cognitiewetenschappers samen met andere wetenschappers en experts uit industrie en praktijk bijeen om na te denken over toepassingen van neurowetenschappelijk onderzoek voor de domeinen voeding, onderwijs, mens-machine-interfaces en justitie. De transdisciplinaire aard van de verkenning – waarbij niet alleen interdisciplinair (wetenschappelijke) kennis en kunde wordt uitgewisseld maar ook met de uiteindelijk gebruikers – is cruciaal voor de ontwikkeling van maatschappelijk robuuste en relevante toepassingen.

Hoewel, zoals gezegd, er nog veel te ontdekken is over de werking van ons brein, zijn er wel degelijk stukjes van de puzzel die als basis kunnen dienen voor nieuwe denkrichtingen van toegepast neurowetenschappelijk onderzoek. Zo weten we niet precies hoe transcraniële magnetische stimulatie (TMS) werkt, maar wel dat het werkt, bijvoorbeeld als therapie voor ernstig depressieve patiënten. Of zoals een van de deelnemers aan het project het omschreef: tijdens de ontwikkeling van de auto, was het paard gedurende lange tijd nog steeds de snelste manier van transport. In het land van de innovatieparadox is het misschien inderdaad geen slecht idee om eens in een vroeg stadium na te denken over toepassingsrichtingen van het excellente wetenschappelijke onderzoek waar Nederland zo goed in is. De STT-toekomstverkenning Beelden van het brein heeft geprobeerd dit voor het hersenonderzoek te doen. Het resultaat is een overzicht met toegepaste denkrichtingen die veel (bijvoorbeeld het gebruik van neuro-imaging voor de evaluatie en optimalisatie van mens-machine-interfaces) maar soms ook weinig kans van slagen (bijvoorbeeld fMRI voor leugendetectie) lijken te hebben. Anderen hebben reeds voortgebouwd op de denkrichtingen uit de verkenning. Zo was de Engelstalige publicatie *Brain Visions* de grondslag van het toegepaste onderzoeksprogramma *Towards an appropriate societal embedding of neuroimaging* dat binnen het NWO-programma Maatschappelijk Verantwoord Innoveren is gefinancierd. En het in 2009 opgerichte Nationaal Initiatief Hersenen en Cognitie is met o.a. de toegepaste onderzoekspijlers Onderwijs en Veiligheid mede geïnspireerd door *Brain Visions*.

¹ Citaat van de Britse neurobioloog Colin Blakemore.

² De publicatie ‘Brain Visions, How the Brain Sciences Could Change the Way We Eat, Communicate, Learn and Judge’ (ISBN 978-90-8096-13-6-4, € 49,- excl. verzendkosten) is verkrijgbaar bij STT of bij de boekhandel.

1 Inleiding

In hoeverre de toegepaste denkrichtingen uit de toekomstverkenning Brain Visions ook houdbaar zullen blijken te zijn, is nog onduidelijk. Het betrekken van gebruikers of mensen uit de praktijk bij de ontwikkeling van toepassingen biedt niet altijd garantie voor succes. Nieuwe toepassingen zullen altijd maatschappelijke effecten teweeg brengen die niet voorzien waren: ethische bezwaren, juridische problemen of politieke discussies. Deze publicatie geeft enkele voorbeelden, maar bevat geen grondige verkenning van deze mogelijke effecten. Deze handschoen is opgepakt door het Rathenau Instituut, zonder wiens financiële hulp en die van het Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen deze publicatie niet tot stand had kunnen komen. Binnen het project *Making Perfect Life* dat het Rathenau Instituut voor het Europees Parlement uitvoert, is het instituut al begonnen om een aantal veiligheids- en privacy kwesties rondom neurotechnologieën in kaart te brengen. En in het werkprogramma 2011-2012 staan onderzoek en debat gepland dat het brein als nieuw wetenschappelijk en sociaal paradigma ter discussie wil stellen. Projectleider Ira van Keulen werkt na deze verkenning bij STT sinds twee jaar aan deze vraagstukken bij het Rathenau Instituut.

Wij hopen dat deze gezamenlijke publicatie u inspireert bij het nadenken over en het bijdragen aan de betekenis van de hersenwetenschappen voor onze samenleving. En die betekenis zit hem niet alleen in interessante nieuwe toepassingsmogelijkheden met ieder zo hun bijzondere reguleringsvraagstukken, maar zeker ook in de invloed van de neurowetenschappen op hoe wij denken over onszelf en onze samenleving.

Dan rest ons alleen nog veel dank uit te spreken aan de deelnemers van deze toekomstverkenning – zij staan achterin genoemd – en met name aan de voorzitter van de verkenning, Paul 't Hoen. Zonder hen had (ook) deze Nederlandstalige publicatie niet kunnen verschijnen.



drs. Pierre Morin
Directeur
Stichting Toekomstbeeld der Techniek



prof. dr. Frans Brom
Hoofd Technology Assessment
Rathenau Instituut

Neurowetenschappelijk onderzoek is gericht op het begrijpen van de hersenen, cognitie en gedrag.¹ Het probeert daarmee – net als de genetica – de biologische basis van de menselijke natuur te ontrafelen. Nooit tevoren is wetenschappelijk onderzoek echter zo persoonlijk geworden door het orgaan te willen ontrafelen dat zo belangrijk is bij de bepaling van ons gedrag, onze identiteit. De hersenen zijn langzamerhand bepalend aan het worden voor het beeld dat we van onszelf hebben, en dit zal waarschijnlijk zo blijven.

In de genetische wetenschappen heeft zich de afgelopen twintig jaar een explosie aan kennis voorgedaan. Nu wordt diezelfde revolutie in de komende decennia verwacht voor de neurowetenschappen en cognitieve wetenschappen.² Volgens Eric Kandel, een van de vele neurowetenschappers die de Nobelprijs hebben gewonnen, bestaat er zelfs algemene consensus over binnen de wetenschap: de biologie van de geest in de 21^e eeuw zal zijn wat de biologie van het gen in de 20^e eeuw is geweest.

Onze groeiende kennis van de hersenen beïnvloedt ook andere wetenschappelijke disciplines, zoals de economie, filosofie en zelfs theologie. Zo is bijvoorbeeld neuro-economie een nieuwe subdiscipline die beeldvormingstechnieken zoals functionele *magnetic resonance imaging* (fMRI) gebruikt om onderzoek te doen naar het (tot nu toe verwaarloosde) effect van emoties op besluitvorming. Neuro-ethiek is een sterk groeiende tak van de bio-ethiek die de ethische consequenties onderzoekt van neurowetenschappelijke studies naar de afwezigheid van vrije wil of mogelijkheden van cognitieve mensverbetering. Neuro-ethiek gaat – volgens sommige neurowetenschappers – ook over de neurobiologische basis van morele besluitvorming. Sommige neurowetenschappers verwijzen zelfs naar de mogelijkheid van een op de hersenen gebaseerde theorie van ethiek [Gazzaniga, 2005] of de neurowetenschap van *fair play* [Pfaff, 2007]. Een voorbeeld van de neurotheologie is onderzoek naar de neurale en evolutionaire basis voor subjectieve ervaringen die als spiritueel worden gecategoriseerd (zoals diverse genetici deden met het 'God-gen') [Alper, 2001; Austin, 2006].

Er bestaat grote belangstelling in het publieke domein voor de vorderingen van de neurowetenschappen en cognitieve wetenschappen in het algemeen. En zoals blijkt hebben de traditionele cognitieve disciplines, zoals gedragspsychologie, in het spoor van het

1 Het brein is te vergelijken met de hardware (het orgaan bestaande uit neuronen, neurale verbindingen, etc.) en cognitie met de software (mentale processen als geheugen, attentie, perceptie, emotie, etc.) van een computer.

2 Wij definiëren de neurowetenschappen als de studie van het centrale en perifere zenuwstelsel – inclusief de hersenen – op verschillende niveaus van aggregatie van molecuul, cel, weefsel, orgaan tot systeem en gedrag. De cognitieve wetenschappen onderzoeken de hersenen en de geest door een combinatie van methoden en inzichten van de psychologie, neurowetenschap, evolutionaire biologie, linguïstiek, kunstmatige intelligente, filosofie, antropologie en andere sociale wetenschappen en de formele methoden van computerwetenschappen, wiskunde en natuurkunde.

moderne *neuro-imaging* onderzoek meegeprofiteerd van de sterk groeiende aandacht voor de hersenen. Nieuwe populaire tijdschriften over psychologie duiken overal op en bestaande krijgen er nieuwe abonnees bij. Kranten rapporteren dagelijks over nieuwe bevindingen in het hersen- en cognitieonderzoek. Op talrijke websites, weblogs en in televisieprogramma's worden wetenschappelijke vondsten en theorieën over de hersenen en het gedrag bediscussieerd. Al deze publiekelijke belangstelling komt voort uit het feit dat neurowetenschappelijke bevindingen nauw verbonden zijn met het zelf en de manier waarop we onszelf zien. Nooit tevoren was wetenschappelijk onderzoek zo persoonlijk. Onze toenemende kennis van de hersenen brengt ons ertoe om te geloven dat 'wij onze hersenen zijn', een idee waaraan de maatschappij in toenemende mate geloof hecht. We zien steeds meer onze hersenen in plaats van ons hart of ons DNA als de sleutel tot en het fundament van onze persoonlijkheid. De idee dat de menselijke geest in zijn geheel kan worden verklaard uit onze hersenactiviteit heeft langzamerhand postgevat, niet alleen in academische kringen, maar ook bij het grote publiek.

Kortom, één ding staat onomstotelijk vast: de hersenen staan in het centrum van de wetenschappelijke en publieke belangstelling. Dat was ook de aanleiding voor de Stichting Toekomstbeeld der Techniek (STT) om de toekomstverkenning Beelden van het Brein op te zetten. Het project had als doel om deze op handen zijnde revolutie binnen de wetenschap en de publieke gedachtevorming hierover te exploreren. De belangrijkste insteek van het project was om kennis vanuit de neurowetenschappelijke laboratoria te confronteren met vraagstukken uit de maatschappelijke praktijk om zo tot ideeën over concrete toepassingen te komen. De centrale vraag van Beelden van het Brein luidde daarom als volgt: hoe en waar kan de groeiende kennis van het brein bruikbaar zijn voor de samenleving?

STT heeft er vervolgens voor gekozen om zich niet te richten op de meest voor de hand liggende toepassingspraktijk van neurowetenschappelijke kennis: de gezondheidszorg. Daar is immers al veel aandacht voor en niet ten onrechte. Het aantal mensen dat lijdt aan neurologische en psychiatrische aandoeningen stijgt nog steeds, niet alleen in Nederland maar wereldwijd. STT besloot echter om te focussen op vier andere mogelijk belangrijke toepassingsdomeinen van de hersenwetenschappen: voeding, mens-machine-interfaces (MMI), onderwijs en justitie.

Deze publicatie presenteert een selectie aan bestaande neurowetenschappelijke onderzoeksresultaten en toekomstige neurowetenschappelijke onderzoekshypothesen die kunnen helpen om de groeiende kennis over het brein toe te passen in het dagelijks leven. Per toepassingsdomein zullen een aantal onderzoeksresultaten en –hypothesen worden toegelicht. Sommige onderzoeksresultaten zullen nu al toepasbaar zijn en anderen zullen wellicht in de toekomst nooit haalbaar blijken.

De resultaten zijn tot stand gekomen in vier verschillende werkgroepen bestaande uit neuro- en cognitiewetenschappers, wetenschappers uit de relevante subdisciplines (zoals de voedingswetenschappen, mens-machine-interactie, onderwijskunde, rechten en de forensische wetenschap) en professionals uit de industrie en de praktijk. Door kennis te maken en kennis te delen, waren zij in staat om tot nieuwe visies – *brain visions* – te komen over neurowetenschappelijke innovatie die ook nog eens maatschappelijk zeer relevant en gewenst zijn.

Dit leidde in 2008 tot het rapport *Brain Visions: How the Brain Sciences Could Change the Way We Eat, Communicate, Learn and Judge*.³ De huidige publicatie is een Nederlandstalige samenvatting van dat rapport, bedoeld om de lezer in korte tijd mee te nemen langs de belangrijkste bevindingen van het STT-project. De belangrijkste vragen die beantwoord zullen worden, zijn:

- Wat zijn de belangrijkste *brain visions* in de toepassingsdomeinen van voeding, mens-machine-interactie, onderwijs en justitie (hoofdstuk 2, 3, 4 en 5)?
- Wat is de huidige stand van kennis in het fundamenteel neurowetenschappelijk en cognitief onderzoek en wat zijn belangrijke onderzoeksdoelen voor de toekomst (hoofdstuk 6)?
- In hoeverre zijn neuro- en cognitieve wetenschappelijke bevindingen geschikt voor verder toegepast onderzoek? Wat zijn de belangrijkste kansen voor de toegepaste neurowetenschappen in bovengenoemde toepassingsdomeinen (hoofdstuk 7)?
- Wat zijn de belangrijkste voorwaarden om de neuro- en cognitiewetenschappen in staat te stellen sociaal en economisch relevante toepassingen te laten voortbrengen (hoofdstuk 7)?

De gepresenteerde onderzoeksresultaten – en hypothesen – zijn gebaseerd op bijdragen van verschillende auteurs met ieder een eigen kijk op de samenleving, wetenschap en technologie. Dat betekent dat de verschillende *brain visions* niet altijd één coherente visie voorstaan; het komt zelfs voor dat de neurowetenschappelijke onderzoeksresultaten of hypothesen elkaar tot op zekere hoogte tegenspreken. Bovendien verschillen de *brain visions* ook per toepassingsdomein. De gepresenteerde toepassingsmogelijkheden binnen voeding bijvoorbeeld – het terrein van de nutricognitie – zijn hoofdzakelijk gebaseerd op industriële belangen en interesses, maar niettemin ook relevant voor grotere maatschappelijke groepen, zoals kinderen en ouderen. De toepassingsmogelijkheden binnen het domein van mens-machine-interactie zijn meer futuristisch – de tijdshorizon kan soms meer dan twintig jaar zijn – en daardoor ook meer open voor discussie. De resultaten en hypothesen gepresenteerd binnen het onderwijshoofdstuk zijn gebaseerd op één gemeenschappelijke visie, namelijk onderwijs op maat, in het Engels *personalised learning*. De meeste zijn niet op korte termijn toepasbaar binnen de onderwijspraktijk. De *brain visions* voor het justitiële domein ten slotte zijn vooral gericht op justitieel onderzoek en het rechtspraakproces (en minder op straffen en behandeling). Meer dan in de andere domeinen veronderstellen de toepassingsmogelijkheden in dit domein ook het maken van ethische en politieke keuzes.

³ Deze publicatie is te bestellen via www.stt.nl.

2 Nutricognitie

Neurowetenschappelijke toepassingen in voeding



Er zijn twee manieren om over het verband tussen voeding en de hersenen te denken. Dit expertisegebied wordt in deze publicatie *nutricognitie* genoemd. Enerzijds is er toenemend onderzoek naar het effect van diëten en individuele voedingsstoffen op de ontwikkeling van de hersenen en cognitieve functies (zie paragraaf 2.1). Een voorbeeld is het positieve effect van foliumzuur op de ouder wordende hersenen: dit vertraagt de normale met ouderdom samenhangende achteruitgang in cognitieve functies als geheugen en informatieverwerking. Anderzijds wordt steeds vaker onderzoek gedaan naar de neurale mechanismen achter eetgedrag, zoals verzadiging, voedselwaarneming en -voorkeuren, honger, voedselverslaving of consumptiepatronen (zie paragraaf 2.2). Recent neurocognitief onderzoek heeft bijvoorbeeld aangetoond dat de reactie van het beloningssysteem in de hersenen op voedsel signalen, zoals reclame voor voedingsmiddelen, van mens tot mens sterk verschilt. Mensen met een sterke neiging om teveel te eten hebben een gevoeliger neuraal beloningssysteem.

Hoewel de voedingssector zich steeds meer op gezonde voeding richt – in de afgelopen vijf jaar hebben Amerikaanse voedingsbedrijven meer dan 10.000 verrijkte of zogenaamde functionele voedingsproducten¹ geïntroduceerd – is het verband tussen voedsel en de hersenen grotendeels over het hoofd gezien. Onderzoek en productontwikkeling met betrekking tot dieet en dieetnormen waren tot op heden gericht op fysieke gezondheid, zoals cholesterolwaarden, maar keken zelden naar het effect van een dieet op cognitieve prestaties. Dit is behoorlijk veranderd. Tegenwoordig is het verband tussen hersenen en voeding een van de belangrijkste zuilen van de onderzoeksprogramma's van veel voedingsbedrijven. Nestlé heeft bijvoorbeeld 20 miljoen euro geïnvesteerd in een meerjarig samenwerkingsproject met het Zwitserse Federale Instituut voor Technologie om de rol van voeding bij cognitieve functies te bestuderen. Het verband tussen hersenfuncties en dieet is ook een van de belangrijkste punten op de strategische onderzoeksagenda van het *European Platform on Food for Life*, dat de hele Europese voedingssector vertegenwoordigt.

Deze groei van nutricognitief onderzoek kan nu en in de toekomst leiden tot het introduceren van allerlei voedingsproducten, zoals *brain food* (producten die de ontwikkeling en prestaties van de hersenen beïnvloeden), gewichtcontrolerende producten (verzadigende producten die de trek van de consument verminderen) of producten die zijn gebaseerd op zogenaamde cross-modale compensatiestrategieën (het door elkaar laten vervangen van verschillende zintuiglijke prikkels zoals smaak, geur, textuur of kleur met

¹ Voedingsproducten die claimen de gezondheid en het welzijn van de consument te bevorderen.

als doel hetzelfde effect in waardering te bereiken). De snelheid waarmee het onderzoek naar gezonde nutricognitieve producten van start is gegaan, is overigens niet alleen het resultaat van de voedingssector die haar collectieve maatschappelijke verantwoordelijkheid aanvaardt maar ook van de aanzienlijke winstmarge van 30 tot 40% die de industrie op functionele voedingsproducten kan maken.

Maar het is niet alleen de voedingssector die van het toegenomen onderzoek naar de onderlinge afhankelijkheid van onze hersenen en voeding zal profiteren. Het publiek zal ook betere voedingsadviezen krijgen; ouderen zal bijvoorbeeld worden geadviseerd om vitamine D in te nemen tegen depressie, of foliumzuur ter voorkoming van dementie. Wetenschappelijk onderzoek naar de neurale mechanismen achter teveel eten kan leiden tot betere beleidsmaatregelen om de epidemie van zwaarlijvigheid te bestrijden. Nutricognitief onderzoek kan het bovendien ook mogelijk maken om via voeding de schadelijke neurale effecten van arsenicum, dat van nature in het grondwater van 200 miljoen mensen in Azië voorkomt, tegen te gaan.

Maar we zijn er nog niet. Er moeten nog vele vragen worden beantwoord, bijvoorbeeld met betrekking tot de invloed van verscheidene voedingsmiddelen op de hersenen bij verschillende groepen consumenten. *Neuro-imaging* technieken in het bijzonder zullen cruciaal blijken bij nutricognitief onderzoek. Zij kunnen gevoeliger en specifiekere testmethoden leveren die de onderliggende mechanismen van voedselvoorkeur en -waardering, zintuiglijke perceptie en -integratie en de invloed van voedingsstoffen op de ontwikkeling en prestaties van de hersenen duidelijk maken. In tegenstelling tot meer traditioneel voedingsonderzoek dat steunt op grote groepen ondervraagden en langdurige interventies met verschillende soorten voeding, kan *neuro-imaging* zoals functionele MRI het onderzoek naar het effect van voedingsstoffen op de hersenen versnellen.

2.1 Brain food

Brain food is vooral veel-belovend voor specifieke groepen consumenten in zowel ontwikkelde als zich ontwikkelende landen

Er zijn verschillende manieren waarop de voedingssector probeert te profiteren van onze groeiende kennis van de hersenen. De duidelijkste manier waarop dit gebeurt is natuurlijk door *brain food* te ontwikkelen: functionele voedingsproducten die een positief effect op de ontwikkeling van de hersenen en/of het cognitief functioneren hebben.

Om overtuigend bewijs van de haalbaarheid en functionaliteit van *brain food* te leveren moeten echter eerst enkele uiterst belangrijke vragen beantwoord worden, zoals: wat is het effect van individuele voedingsstoffen op belangrijke moleculaire processen in de hersenen en wat is de relatie tussen deze processen en het cognitief functioneren?

Tot dusverre is het merendeel van het bewijs voor de positieve effecten van voedingsstoffen op de cognitieve ontwikkeling afkomstig van onderzoek bij zieke of ondervoede mensen. Daarom is het waarschijnlijk dat de markt voor brainfoodproducten die op specifieke groepen consumenten zijn gericht – bijvoorbeeld subklinische groepen zoals consumenten met een aanleg voor bijvoorbeeld stress of stemmingsstoornissen – zal groeien. *Brain food* zal daarom waarschijnlijk van grotere invloed zijn op deze groepen. Hetzelfde



geldt voor consumenten in ontwikkelingslanden omdat de voedingsdeficiënties die de ontwikkeling van de hersenen belemmeren, in die regio's wijder verbreid zijn. Vooral kinderen die geen evenwichtig dieet hebben, lijden aan cognitieve onderontwikkeling. Zij lijden aan een gebrek aan micronutriënten als jodium, vitamine A, ijzer, zink en foliumzuur. Anderzijds zal ongetwijfeld ook de markt voor *brain food* voor gezonde doelgroepen zoals kinderen en ouderen groeien. De voedingssector zal proberen met voeding die de hersenontwikkeling ondersteunt (bij kinderen), de hersenen te optimaliseren en de achteruitgang van de hersenstructuur en -functies (bij ouderen), te voorkomen. *Brain food*-producten kunnen noviteiten zijn (bijvoorbeeld zogenoemde *brain bars* oftewel hersenrepen) of traditionelere producten met een toegevoegde waarde. Een voorbeeld van dat laatste zijn producten die zo worden geoptimaliseerd dat ze op natuurlijke wijze meer van de gewenste ingrediënten bevatten (bijvoorbeeld omega-3-vetzuren in melkproducten, eieren of vlees). In ontwikkelingslanden zal een eenvoudige strategie voor het optimaliseren van

basisvoeding (bijvoorbeeld het toevoegen van mineralen aan meel) waarschijnlijk meer beoogde consumenten bereiken. De gemiddelde consument van middelbare leeftijd met een evenwichtig dieet zal waarschijnlijk niet profiteren van specifiek *brain food* om de eenvoudige reden dat het effect ervan bij een optimaal dieet of zelfs een basisdieet minimaal tot nul zal zijn.

Indirecte effecten van voeding kunnen leiden tot cognitieve verbeteringen, producten en strategieën gebaseerd op rechtstreekse effecten niet

Er zijn een paar zeer belangrijke voedingsgerelateerde factoren die een indirect effect op de cognitieve ontwikkeling en prestaties hebben. Zo moeten bijvoorbeeld de darmen gezond zijn om de essentiële voedingsstoffen uit het ingenomen *brain food* te kunnen opnemen. Een andere belangrijke factor is een gezond cardiovasculair

systeem. Dit heeft een positief effect op cognitieve prestaties, vooral op latere leeftijd.² Aangezien levensstijl – waartoe voeding behoort – een van de manieren is om de belangrijkste risicofactoren voor hart- en vaatziekten (zoals bloeddruk en LDL-cholesterol) te reguleren, kan voeding een indirecte rol spelen om het functioneren van de hersenen te verbeteren; goede voeding zorgt namelijk voor een gezond cardiovasculair systeem. Een ander voorbeeld van een indirecte route is herstel (slapen) dat het vermogen om ons te concentreren en daardoor onze hersenen te trainen beïnvloedt. Deze indirecte effecten kunnen de voedingssector ertoe brengen om strategieën te ontwikkelen die voedingsproducten combineren met activiteiten die een gezonde levensstijl bevorderen. Een goed voorbeeld van zo'n strategie uit een andere marktsector is het initiatief 'Start to Run' van Nike: een trainingsprogramma voor mensen die wat extra motivatie nodig hebben om te gaan joggen (in een nieuw

² Ouderen worden tegenwoordig aangemoedigd om meer te bewegen om neurodegeneratie tegen te gaan.

paar joggingschoenen van Nike natuurlijk). Voor de voedingssector kan dit ook een interessante strategie zijn om haar *brain food*-producten aan de man te brengen. Denk aan programma's met een combinatie van beweging en voeding, zoals het Amerikaanse BrainSavers.³ Onderzoek wijst namelijk uit dat de rechtstreekse effecten van voedingsstoffen alleen kunnen leiden tot een normale of hoogstens een optimale ontwikkeling. Met andere woorden, onder normale omstandigheden zal het waarschijnlijk onmogelijk zijn om de cognitieve prestaties door middel van voeding daadwerkelijk te verbeteren. Maar de indirecte effecten zouden wel verschil kunnen maken en de neurale ontwikkeling en cognitieve prestaties *above baseline* kunnen stimuleren. Dit is echter nog onderwerp van veel discussie onder wetenschappers.

2.2 Overgewicht

De neurowetenschappen kunnen helpen om caloriearme producten te ontwikkelen met betere compensatie- en verzadigingsstrategieën die toch een vol gevoel geven

Behalve voeding voor een optimale cognitieve ontwikkeling en prestaties zijn er ook andere manieren waarop hersenonderzoek van waarde kan zijn voor de voedingssector en de consument. Dit heeft te maken met een verschuivende focus van de sector naar gezondheidsdoelen, zoals vitaliteit en welzijn. Ondernemingen spannen zich tegenwoordig

aanzienlijk meer in om voedingsproducten te ontwikkelen die een gezonde levensstijl ondersteunen, denk aan producten die op gewichtsbeheersing zijn gericht. Twee productstrategieën zijn in dit opzicht interessant en zouden van de neurowetenschappen kunnen profiteren.

In de eerste plaats zijn er cross-modale compensatiestrategieën: hoe kunnen potentieel schadelijke voedingsstoffen zoals vet, zout of suiker worden vervangen door onschadelijke, zonder dat de consument het verschil merkt? Bijvoorbeeld, het toevoegen van aardbeienaroma aan sucroseoplossingen kan de ervaring van de zoetheid (smaak) vergroten omdat de geur de smaak beïnvloedt. Een belangrijke uitdaging voor de neurowetenschappen is de vraag hoe mensen bijvoorbeeld het vetgehalte of de romigheid in voedingsproducten ervaren. Sommige neurowetenschappelijke onderzoeken suggereren dat mensen een apart oraal zintuiglijk mechanisme voor vetwaarneming hebben. Dit betekent dat vet mogelijk door één enkele andere component vervangen kan worden. Het is waarschijnlijk dat een goed begrip van hoe de hersenen vet 'zien' het mogelijk zal maken voor productontwikkelaars om een geschikte alternatieve mix te ontwikkelen waarin kleur, smaak en smaakzin gebruikt worden om dat rijke, romige, gevoel van vet in de mond te creëren zonder de calorieën ervan. Een andere strategie voor gewichtsbeheersing heeft te maken met verzadiging. Sommige voedingsmiddelen verzadigen beter dan andere, omdat ze een geringere energiedichtheid (dat wil zeggen een gering aantal calorieën per volume) hebben, zwaarder of volumineuzer zijn of veel vezels bevatten. In de toekomst zullen steeds meer producten worden ontworpen met een grotere verzadiging per calorie. Deze nieuwe voedselproducten zullen de

³ De Amerikaanse beginnende onderneming BrainSavers (www.brainsavers.com) gebruikt precies zo'n indirecte strategie. Zij hebben "een totaal levensstijlprogramma" ontwikkeld, "dat mensen helpt gezondere gewoonten aan te nemen door lichaamsbeweging en mentale oefeningen, ondersteuning, opleiding, voedingsadvies en aanvullende op de natuur gebaseerde voedingsproducten."

consument al in een vroeg stadium van consumptie een vol gevoel geven. De belangrijkste strategieën tot dusverre zijn het toevoegen van vezels of eiwitten geweest, maar een beter begrip van de neurale mechanismen achter verzadiging zouden kunnen helpen om nieuwe productstrategieën voor verzadiging te ontwikkelen. *Neuro-imaging* methoden kunnen ook – als het gaat om verzadiging – op een directe manier de onderbewuste neurale respons van consumenten in kaart brengen in plaats van de traditionele indirecte metingen door middel van vragenlijsten.

De eerste levensjaren bieden de belangrijkste kans om voedingsvoorkeuren te conditioneren



Voedselvoorkeuren zijn opvallend stabiel en als ze in de vroege levensjaren worden verkregen, kunnen ze een bijzonder langdurige invloed uitoefenen.

Voedselvoorkeuren zijn opvallend stabiel en als ze in de vroege levensjaren worden verkregen, kunnen ze een bijzonder langdurige invloed uitoefenen. Hedonistische aspecten van smaak (lekker versus vies) zijn grotendeels erfelijk, maar kunnen door ervaringen tijdens de ontwikkeling worden gevormd. De hedonistische waarde van geuren daarentegen is aangeleerd, en varieert sterk van mens tot mens en van cultuur tot cultuur. Hoewel erfelijkheid enigszins een rol speelt, lijken de meeste sensorische voorkeuren te worden aangeleerd door herhaalde blootstelling aan specifieke sensorische gebeurtenissen en de daarmee geassocieerde gevolgen. Een voorliefde voor bepaalde voedingsmiddelen die al in de vroege kinderjaren is ontstaan, kan zelfs voorkeuren in de jonge volwassenheid voorspellen, vooral voor groenten, kaas en vlees. Zo kan een blootstelling aan de geur van vanille als zuigeling resulteren in een voorkeur voor tomatenketchup met vanillesmaak als volwassene. De toevoeging van een groentesmaak aan flesvoeding voor baby's zou om die reden een manier kunnen zijn om kinderen op latere leeftijd te stimuleren gezonde voeding te eten. Het is echter nog niet verder onderzocht of het bevorderen van het drinken van dergelijke gearomatiseerde flesvoeding het eten van groenten op latere leeftijd ook daadwerkelijk bevordert.

Samengevat lijken de eerste levensjaren belangrijke mogelijkheden te bieden om stabiele voedselvoorkeuren te ontwikkelen.⁴ Of en hoe deze *window of opportunity* kan worden gebruikt om een voorkeur te conditioneren, is nog niet duidelijk. Het vaststellen van de neurale mechanismen die aan de basis liggen van menselijk voorkeursgedrag, zou kunnen helpen bij het ontwerpen van strategieën om dat gedrag te beïnvloeden. Toekomstig neurowetenschappelijk onderzoek zou daarom in het bijzonder moeten worden gericht op de processen die betrokken zijn bij de totstandkoming van neurale verbindingen tussen hedonistische en waarnemingsaspecten van voedsel.

4 Hoewel het ook mogelijk is om bij volwassenen een associatie tussen bijvoorbeeld nieuwe – niet-bestaande – geuren en een specifiek gevoel (bijvoorbeeld blij of verdrietig) teweeg te brengen.

Individuele neurale verschillen lijken een neiging tot te veel eten te bepalen

Als de smaak, de geur en het uiterlijk van voedsel erg appetijtelijk zijn, kunnen de beloningssignalen de verzadigingssignalen van het lichaam opheffen en daardoor stimuleren tot teveel eten. Onderzoek met *neuro-imaging* technieken toont individuele verschillen in de hersenen bij deze beloningsreacties op voedselprikkels zoals reclamebeelden van etenswaren. Tegelijkertijd heeft gedragsonderzoek aangetoond dat mensen die gevoeliger zijn voor beloning een hoger lichaamsgewicht hebben, heviger naar voedsel kunnen verlangen en een sterkere neiging tot teveel eten hebben dan mensen die minder gevoelig zijn voor voedselprikkels van buitenaf. Kortom, het lijkt erop dat sommige mensen eerder geneigd zijn om teveel te eten dan andere. Dit betekent dat er meer achter ernstig overgewicht zit dan alleen een gebrek aan wilskracht. Deze theorie heeft tot nu toe vooral tot preventiestrategieën geleid die individueel gericht zijn. Bovengenoemde recente neurowetenschappelijke bevindingen tonen echter aan dat collectieve strategieën – zoals het verbannen van voedingsreclame voor gezoete voedingsproducten en dranken uit kindertelevisie – (ook) kunnen werken.

Ernstig overgewicht beïnvloedt de ontwikkeling van hersenen en cognitie; het leidt bijvoorbeeld tot een grotere kans op dementie

In de politieke en publieke discussie over de medische gevolgen van ernstig overgewicht is tot nu toe het effect van teveel eten op de hersenen en cognitie genegeerd. De nadruk in deze discussie ligt gewoonlijk op cardiovasculaire risico's, het insulineresistentie syndroom en andere complicaties voor longen, lever, nieren, gewrichten en spieren. Toch stapelt wetenschappelijk bewijs voor de negatieve neurale en cognitieve gevolgen van ernstig overgewicht zich op. Zo is er een negatieve correlatie tussen het binnen een jaar op gewicht komen van een baby met laag geboortegewicht en IQ. Ander onderzoek toont aan dat dit effect van postnatale compenserende groei de IQ-scores op iemands elfde nog steeds negatief kan beïnvloeden, zelfs als deze voor socio-economische factoren worden gecorrigeerd.

Een ander interessant gegeven is dat ernstig overgewicht op middelbare leeftijd de kans op dementie op latere leeftijd vergroot. Onderzoek heeft aangetoond dat mensen die op middelbare leeftijd lijden aan obesitas, 74% meer kans hebben om aan dementie te gaan lijden. Mensen met overgewicht hebben 35% meer kans dan mensen met een normaal gewicht om te gaan dementen [Whitmer, 2005].⁵ Het programmeren van ernstig overgewicht tijdens de zwangerschap blijkt eveneens bij te dragen aan het potentiële gevaar voor de ziekte van Alzheimer. In het algemeen lijkt te gelden dat hoe meer orgaanvet er is, hoe hoger de kans op dementie als gevolg van neurodegeneratieve, vasculaire en metabole processen die de hersenstructuren aantasten. Er is meer onderzoek nodig om deze verontrustende neurale en cognitieve gevolgen van ernstig overgewicht gedetailleerd te beschrijven.

5 Een Body Mass Index (BMI); statistische meting van iemands gewicht in verhouding tot zijn lengte) van meer dan 30 betekent ernstig overgewicht (obesitas of zwaarlijvigheid); een score tussen 25 en 30 duidt op overgewicht.

2.3 Productontwikkeling

Een beter begrip van de sensorische eigenschappen van voeding zou kunnen helpen om de cycli van productontwikkeling te verkorten

Een beter inzicht in de sensorische en fysiologische eigenschappen van ingrediënten en voedselstructuren zou de voedingssector kunnen helpen om de voorkeuren van de consument te voorspellen en in het bijzonder de langdurige acceptatie van nieuwe producten. De mogelijkheid van het gebruik van *neuro-imaging*

om rechtstreeks de hedonistische reacties in de hersenen op verschillende sensorische eigenschappen te meten, zoals de smaak, geur en textuur van specifieke ingrediënten, is hier van bijzonder belang. Er is bijvoorbeeld sprake van een positieve hedonistische waarde wanneer hedonistische hersensystemen als de dopamine- en opiatenroutes worden geactiveerd. Verschillende hersengebieden, bijvoorbeeld de orbitofrontale cortex, zijn belangrijk bij voorkeuren en verlangens. Deze gebieden zijn actiever – en lichten dus op scans op – wanneer bijvoorbeeld chocoladeliefhebbers chocolade zien of eten. Volgens de beroemde neurowetenschapper Edmund Rolls betekent dit dat: “We weten wat mensen lekker zullen vinden op basis van hun hersenactivatie” [Farrow, 2007]. Onderzoek in het lab van Rolls toont aan dat er inderdaad individuele verschillen zijn in de neurale verwerking voor erg lekker voedsel. Dit blijkt niet alleen afhankelijk van de hoeveelheid ingenomen voedsel – hoe meer je eet, hoe minder je verlangt naar dat specifieke voedsel (de zogenoemde sensorisch-specifieke verzadiging) – maar ook van iemands specifieke voorkeur voor en verlangen naar voedsel. Het begrip van deze individuele verschillen in de hersenen met betrekking tot voedselkeuze en verlangen naar voedsel zou de sector kunnen helpen om regels voor productontwikkeling te ontwerpen. Tegelijkertijd kunnen

neurowetenschappelijke methoden het mogelijk maken om de meningen en percepties van de consument objectiever te meten dan door consumentenpanels of interviews. Dergelijke inzichten zouden de hoeveelheid tijd die aan het proefondervindelijk testen van producten in laboratoria wordt besteed, verminderen en een van de grootste problemen van de voedingssector oplossen: het feit dat meer dan 70% van de nieuwe producten binnen drie maanden al uit de winkelschappen verdwijnt.



Mensen met overgewicht hebben 35% meer kans dan mensen met een normaal gewicht om te gaan dementeren.
Met dank aan Colin Rose, www.flickr.com.

3 Neuro-centred design

Neurowetenschappelijke toepassingen voor interfaces tussen mens en machine



De duidelijkste toepassing van neurowetenschappelijke kennis op het gebied van MMI¹ is natuurlijk de interface tussen de hersenen en een machine (zie paragraaf 3.1). Een van de meest verbijsterende voorbeelden van zo'n interface is het hersenimplantaat dat Mathew Nagle – verlamd vanaf zijn nek – in 2006 kreeg.² Deze neuroprothese hielp hem te communiceren met de buitenwereld door zijn ‘gedachten te lezen’. Hij was bijvoorbeeld in staat om een cursor te laten bewegen door te denken dat hij hem bewoog. Deze ogenschijnlijk onbeduidende handeling hielp hem om een brief op te stellen, een computerspelletje te spelen, zijn e-mail te openen en te surfen op het internet – een enorme verbetering van zijn kwaliteit van leven.

Er zijn twee belangrijke benaderingen van de brein-machine-interfaces (BMI's): invasieve (het rechtstreeks in de hersenen inbrengen van elektroden) en non-invasieve (het aanbrengen van sensoren aan een kap of hoofdband die om het hoofd wordt gedragen). Beiden kunnen hersenactiviteit meten – bijvoorbeeld door het meten van elektrische signalen, de bloedtoevoer of de zuurstofwaarden – en deze in een digitale vorm vertalen die computers in een specifieke actie of handeling kunnen omzetten. De hersenactiviteit die door deze interfaces wordt gemeten, kan soms verbonden worden met een specifieke cognitieve activiteit. Microsoft heeft bijvoorbeeld in augustus 2007³ een octrooiaanvraag ingediend voor “het gebruik van elektro-encefalografische signalen voor taakclassificatie en activiteitherkenning”. Microsoft hoopt – met vele anderen – een elektro-encefalogram (EEG) te kunnen gebruiken om de hersenactiviteitspatronen van cognitieve werkbelasting, taakbetrokkenheid, verrassing, tevredenheid en frustratie te herkennen. Dergelijke informatie die rechtstreeks gebaseerd is op hersenactiviteit, zou kunnen leiden tot aanpassingen in een computersysteem. Is iemand bijvoorbeeld cognitief overbelast, dan zou het systeem de hoeveelheid aangeboden informatie aan de gebruiker kunnen aanpassen. Een vooruitgang in het begrip van neurale activiteitspatronen achter verschillende mentale processen zou eventueel tot het ultieme adaptieve systeem kunnen leiden, waarbij het systeem zich naadloos aan de gebruiker aanpast.

- 1 Het MMI-domein (mens-machine-interfaces) onderzoekt hoe gebruikers interacteren met een technologisch systeem, bijvoorbeeld een specifieke machine, een apparaat, een computerprogramma of een ander complex instrument.
- 2 Een rij met 96-elektroden werd op het oppervlak van de motorcortex van Matthew Nagel geplaatst bij het gebied dat zijn linkerarm en -hand beheerste. De elektroden werden aangesloten op een computer die getraind was om de denkpatronen van Nagel te herkennen, terwijl Nagel bepaalde bewegingen probeerde te maken. Nagel had dit apparaat één jaar lang voor hij in juli 2007 stierf.
- 3 Amerikaanse octrooiaanvraag 20070185697.



TNO onderzoekt de mogelijkheden om BMIs – gebaseerd op EEG – in te zetten bij gezonde gebruikers, zoals gamers.
Met dank aan Jan van Erp, TNO Human Factors.

Soms bevat hersenactiviteit geen informatie op cognitief niveau, maar wordt zij slechts gebruikt als een outputmeting die door een computersysteem kan worden waargenomen om de behoefte van de gebruiker te herkennen. Zo werken bijvoorbeeld brein-machine interfaces gebaseerd op de P300-hersengolf⁴, gemeten door een EEG. Door het meten van de P300 kan een systeem achterhalen welke letter een gebruiker in zijn hoofd heeft terwijl hij naar een willekeurige volgorde van letters kijkt.

Neurowetenschappelijk onderzoek kan echter ook buiten het gebied van de BMI's worden gebruikt. Twee andere velden binnen het domein van MMI die van de groeiende kennis van de hersenen zouden kunnen profiteren, zijn de zogenoemde neuro-ergonomie en *neuromimicry*. Neuro-ergonomie (zie paragraaf 3.2) is een opkomend veld dat MMI- onderzoek combineert met neurowetenschap met als doel om een specifieke technologie of interface te evalueren en te optimaliseren op basis van kennis van de mogelijkheden en beperkingen van de menselijke hersenen. Een van de recente voorbeelden is het *brain-imaging* onderzoek over het gebruik van een mobiele telefoon tijdens het autorijden, waaruit blijkt dat zelfs een *handsfree* of *voice-activated* gebruik van een mobiele telefoon net zo gevaarlijk is als rijden onder invloed.⁵ *Neuromimicry* (zie paragraaf 3.3) gaat in tegenstelling tot neuro-ergonomie over het gebruik van onze groeiende kennis over de hersenen om neurale mechanismen na te bootsen in nieuwe interfaces, machines of robots. Een voorbeeld hiervan is de *whiskerbot*: een kleine mobiele robot met snorharen die informatie kan verzamelen over een omgeving die slecht toegankelijk is, zoals een pijpleiding of een ingestort gebouw.⁶ Het ontwerp is gebaseerd op computermodellen van die gebieden in de hersenen van ratten die betrokken zijn bij de snorharen. Een ander voorbeeld is het Amerikaanse bedrijf Numenta – van Jeff Hawkins, de oprichter van Palm Computing – dat werkt aan de ontwikkeling van een intelligente computer die niet hoeft te worden geprogrammeerd, maar die net als de menselijke hersenen leert door patronen in complexe gegevens te ontdekken. Hawkins noemt het een *hierarchical temporal memory system* (HTM), gebaseerd op de werking van de menselijke neocortex.

De neurowetenschappen kunnen ook van MMI-onderzoek en -ontwikkeling profiteren (zie paragraaf 3.4). MMI kan de cognitieve neurowetenschappen interessante onderzoeks-instrumenten bieden, zoals Virtuele Realiteit (VR). De onderzoeksrespondenten die in een fMRI-scanner worden onderzocht, bijvoorbeeld, moeten stilliggen. De onderzoeksstimuli

4 Een P300-hersengolf is een positieve deflexie in voltage die erop wijst dat de gebruiker een significante sensorische stimulus ervaart.

5 Neurocognitief onderzoek toont aan dat luisteren tijdens het rijden resulteert in een afname van 37% van de activiteit in de pariëtale kwab, die met ruimtelijke verwerking wordt geassocieerd en daarom essentieel is voor navigatie. De activiteit in de occipitale kwab, die visuele informatie verwerkt, nam eveneens af [Just et al., 2008].

6 Zie www.whiskerbot.org.

kunnen alleen via een computerscherm worden getoond omdat fysieke taken beweging van de respondent vereisen. De combinatie van fMRI en een goed ontwikkelde VR-omgeving die de deelnemers een sterk gevoel van realiteit geven, zou tot een beter begrip kunnen leiden van de relatie tussen wat mensen denken en ervaren en de bijbehorende patronen in hersenactiviteit. MMI kan de neurowetenschappen ook ondersteunen door het gezamenlijk ontwerpen van toegepaste onderzoeksprojecten over de neurale en cognitieve processen die ten grondslag liggen aan de interactie tussen de mens en technologie. Op die manier zou MMI fundamenteel neurowetenschappelijk onderzoek voorzien van een stevige basis in de praktijk om zo de ecologische validiteit (het zo dicht mogelijk benaderen van de werkelijk te onderzoeken situatie) van neurowetenschappelijke resultaten te verhogen.

De verscheidene wegen waarop MMI neurowetenschappelijke kennis kan gebruiken en vice versa, zou tot een nieuw onderzoeksgebied kunnen leiden en misschien zelfs tot een nieuw tijdperk: een *neuro-centred design* van interfaces.

3.1 Brein-machine-interfaces

Een beter begrip van de communicatie tussen onderlinge hersengebieden of neuronale netwerken zal in de toekomst tot een brede toepassing van interfaces tussen hersenen en machines leiden

Alleen de meest fundamentele hersenfuncties (de motorische en sensorische functies) worden door een specifiek onderdeel van de hersenen gereguleerd, dat wil zeggen, zijn in de hersenen

op een specifieke plek gelokaliseerd. Cognitieve functies zoals aandacht en perceptie zijn complexer⁷ en worden door netwerken van verschillende hersengebieden gereguleerd. De mate waarin deze netwerken worden geactiveerd, hangt af van de taak in kwestie. Hoewel het veel gecompliceerder is om netwerkactiviteiten in de hersenen te meten, zal kennis daarover zeer waarschijnlijk toekomstige brein-machine-interfaces verbeteren die gericht zijn op het doorgeven van informatie over de cognitieve staat van de gebruiker aan een systeem. Wanneer we in staat zijn om specifiekere en selectievere hersenactiveringspatronen te meten, zal het gemakkelijker worden om deze in termen van mentale activiteit te interpreteren.

Er zijn momenteel echter nog heel wat vragen. Hoe communiceren bijvoorbeeld neuronen met elkaar in een netwerk? Veel van de neuronactiviteit die wordt gemeten tijdens motorische taken, houdt verband met de taak in kwestie, maar is niet werkelijk essentieel voor de uitvoering van die taak. Het lijkt waarschijnlijk dat populaties neuronen – die min of meer dezelfde aspecten van de omgeving monitoren – met elkaar concurreren om uiteindelijk een bepaalde handeling zo snel mogelijk te kunnen uitvoeren. Voordat we de fundamentele berekeningen die ten grondslag liggen aan hersenfuncties kunnen begrijpen, is het belangrijk om de codering van informatie in de activiteit van neurale populaties te achterhalen. Als we die weten, kunnen we de hersensignalen interpreteren die nuttig zouden kunnen zijn voor de ontwikkeling van BMI's die externe apparatuur aansturen. Tot nu toe meet het merendeel van deze interfaces de hersenactiviteit met betrekking tot

7 Voor wat de cognitieve functies betreft, is het moeilijker om de neurale vertaalprocessen te beoordelen van stimulus tot actie of mentale activiteit.

motorische activiteit. Of, beter gezegd, de meeste BMI's meten de hersenactiviteit van een gebruiker die zich een bepaalde motorische actie *voorstelt*, bijvoorbeeld het oppakken van een glas. Huidige brein-machine-interfaces die worden gebruikt om apparatuur aan te sturen, meten dus niet de intentie van de gebruiker voorafgaande aan de feitelijke handeling, maar gebruiken slechts een klein gebied van de cortex dat door training een kunstmatig outputkanaal is geworden. Dit betekent dat een gebruiker met een BMI zich bijvoorbeeld voorstelt dat hij een voet beweegt om zijn armprothese te bewegen (je kunt je hersenen aanleren om je armprothese te bewegen door te denken aan je bewegende voet). Het rechtstreeks meten van de intenties van de gebruiker zou een belangrijke stap zijn naar verbeterde BMI's die externe apparatuur aansturen. Hoewel het onderzoek naar dit soort interfaces tot dusverre gericht is op gehandicapte gebruikers, kunnen we ons ook voorstellen dat BMI's nuttig zijn voor gezonde gebruikers in een specifieke omgeving (zoals gamers, chirurgen of soldaten). Om het dagelijkse gebruik van dit soort interfaces te vergemakkelijken moeten verscheidene mechanische problemen ook worden aangepakt: de interfaces moeten draagbaar, niet-invasief, draadloos en automatisch zijn – of in elk geval gemakkelijk in het gebruik. BMI's zullen waarschijnlijk conventionele interfaces in conventionele settings niet gaan vervangen; uiteindelijk kunnen zij namelijk de ledematen als meest efficiënte outputkanaal voor de hersenen niet overtreffen.

In toekomstige slimme omgevingen zullen BMI's het mogelijk maken om de intenties van gebruikers te begrijpen en erop te anticiperen

Slimme omgevingen (*smart environments*) zijn omgevingen die gevoelig en adaptief zijn voor en reageren op de behoeften, gewoonten, gebaren en emoties van hun gebruikers.⁸ De trend naar slimme omgevingen betekent dat het nodig is om de interactie tussen mens en machine te begrijpen. Een voorbeeld van een slimme omgeving is een *home control system* dat jouw stemming herkent als je thuiskomt na een lange dag op het werk. Op basis

van deze informatie creëert het systeem meteen een ontspannen sfeer die is gebaseerd op jouw voorkeuren: verschillende lichten worden in een bepaalde kleur en helderheid ingesteld, en je favoriete muziek wordt opgezet. De instellingen zijn automatisch, omdat ze van je profiel zijn afgeleid dat op grond van voorgaande ervaringen in soortgelijke situaties is opgesteld. In de toekomst zouden BMI's kunnen helpen bij het rechtstreeks achterhalen en meten van de bewuste en onbewuste bedoelingen van gebruikers in een slimme omgeving. Dat zou een hele verbetering betekenen, omdat de complexiteit van menselijke bedoelingen niet altijd kan worden achterhaald door alleen maar naar de handelingen van de gebruiker te kijken. BMI's zullen alleen toepasbaar zijn onder bepaalde restricties en in een zeer specifieke omgeving, bijvoorbeeld een auto. Een voorbeeld is de autoproducent Honda, die er nu al over denkt om BMI's te gebruiken om de bedoelingen van de chauffeur te decoderen en deze aan de auto of aan andere bestuurders en voetgangers door te geven. In de verre toekomst kunnen dit soort interfaces zelfs in staat zijn om de bedoelingen van de gebruiker op te vangen, nog voordat de gebruiker zich er zelf van bewust is. Dit betekent dat een intelligente omgeving zal begrijpen wat de gebruiker wil, voordat hij zichzelf bewust is van zijn eigen bedoelingen. Neurowetenschappers waren recentelijk al in staat om te voorspellen welke van de twee knoppen iemand in een fMRI-scanner zou indrukken [Haynes et al., 2007]. Door de activiteit te meten in een netwerk van hersengebieden in de

⁸ Zie www.hitech-projects.com/euprojects/ambience

prefrontale cortex betrokken bij aankomende beslissingen, konden de onderzoekers de actie al voorspellen tien seconden voordat de deelnemer aan het onderzoek bewust de beslissing nam. Een EEG kan ook een *readiness potential* (RP) meten in geval van eenvoudige motorische taken. Een RP wordt slechts 350 tot 400 milliseconden voordat de deelnemer zich bewust wordt van zijn bedoeling, gemeten. Het is echter niet duidelijk of ditzelfde ook geldt voor hogere bedoelingen of complexere keuzen, of uitsluitend bij motorische of bewegingsbedoelingen. Overigens, kan, als de hersenen zich al voorbereiden op een actie voordat iemand bewust een beslissing neemt, diegene nog steeds vrij zijn om bewust te besluiten deze voorbereidingen te *onderbreken*. Er zijn nog heel wat technologische en wetenschappelijke uitdagingen aan te gaan voordat het mogelijk zal zijn om – in plaats van met een zware fMRI machine – iemands verborgen intenties op een dagelijkse basis af te lezen met een minder invasieve interface tussen hersenen en machines, zoals bijvoorbeeld een op EEG gebaseerde methode.

Sommige BMI's zijn bedoeld om bepaalde unieke kenmerken van de hersenen uit te buiten of te omzeilen

Een van de huidige onderzoekslijnen binnen het BMI-veld bestaat uit het sorteren en classificeren van beelden door het combineren van de verwerkingscapaciteit van menselijke hersenen met de huidige *computer vision*-mogelijkheden. Het *Cortically Coupled Computer Vision*-systeem (of *C3 Vision*) ontworpen aan de Columbia University kan veel sneller zoeken in grote hoeveelheden beelden of videofilms dan

een mens of een computer alleen zou kunnen. Het geval wil dat de menselijke hersenen veel beter en sneller zijn in patroonherkenning dan de huidige computersystemen, zelfs zonder dat de gebruiker zich bewust is van wat hij aan het doen is. Het *C3 Vision*-systeem maakt daarvan gebruik door die beelden in een beeldenstroom te registreren die een P300-piek teweegbrengen. Deze piek in hersenactiviteit treedt op als iemand een beeld ziet dat nieuw, ongewoon of zeldzaam is, zelfs voordat die persoon zich daarvan bewust is. Het *C3 Vision*-systeem is getest door helikopterplatforms op satellietbeelden te identificeren. Het systeem bleek niet alleen sneller, maar ook efficiënter te zijn, dat wil zeggen, meer platformen te ontdekken dan via de traditionele visuele inspectie (door een mens).

Een andere interessante manier om de unieke kenmerken van de individuele hersenen uit te buiten is ontwikkeld op de Carleton University in Canada. Het doel van de onderzoekers is om BMI's te gebruiken voor biometrische doeleinden. De onderzoekers gebruikten de unieke reactie van de individuele hersenen op specifieke stimuli, zoals geluiden of beelden, als identificatiemethode. Denk bijvoorbeeld aan een fragment van een liedje of het beeld van je favoriete schilderij als soort van 'pass-gedachte' in plaats van een password om in te loggen.

De *Defense Advanced Research Projects Agency* (DARPA) – de organisatie voor onderzoek en ontwikkeling voor het Amerikaanse Ministerie van Defensie – volgt eenzelfde soort onderzoekslijn met de ontwikkeling van het *Cognitive Technology Threat Wiring System* (CT2WS). Dit is een militair apparaat dat geacht wordt tienmaal krachtiger te zijn dan de huidige verrekijkers door een alarmsysteem dat op EEG-technologie is gebaseerd. De verrekijker zou in staat zijn om de neurale signalen die ten grondslag liggen aan de detectie van een doel waar te nemen, zelfs nog voordat de soldaat zich van het potentiële gevaar bewust wordt. DARPA gaat in dit project een stap verder dan het *C3 Vision*-systeem. Het CT2WS omzeilt een specifiek kenmerk van de menselijke hersenen, namelijk de selectietaak van de prefrontale cortex die voorkomt dat er te veel valse alarmen worden afgegeven.

3.2 Neuro-ergonomie: conventionele interfaces verbeteren

Neuro-imaging-methoden kunnen worden gebruikt om interfaces tussen mens en machines te beoordelen en optimaliseren

Naast de nog futuristische mogelijkheden van interfaces tussen hersenen en machines, kunnen de neurowetenschappen en in het bijzonder beeldvormingstechnieken worden gebruikt om conventionele interfaces te beoordelen. Deze technieken stellen ons in staat om interfaces tussen mens en machine te beoordelen op het feit of ze

de juiste hersengebieden die bij de relevante taak zijn betrokken, stimuleren. Tegelijkertijd kunnen deze technieken worden gebruikt om de effectiviteit van de stimulering te beoordelen. Dit is vrij 'gemakkelijk' te doen, aangezien de menselijke hersenen functioneel gespecialiseerde modules (hersengebieden) bevatten voor kleuren, bewegingen, stereo, textuur, vormen zien, objectrepresentatie, gezichtsherkenning, enzovoorts. Aparte neurale *pathways* (circuits van anatomisch en functioneel gerelateerde hersengebieden) coderen specifieke visuele informatie voor het lokaliseren van objecten in de omgeving, het herkennen en uitvoeren van handelingen, het herkennen van objecten of het herkennen van de oppervlaktenmerken van objecten. Er zijn meerdere *pathways* betrokken bij vele taken in het dagelijks leven. Een interessant voorbeeld is dat gereedschap in tegenstelling tot 'normale' objecten, ook hersengebieden activeren die hun gebruik coderen, waarschijnlijk als voorbereiding op het gebruik ervan. Dat betekent dat de beste mens-machine-interfaces net als gereedschap voor zich zouden moeten spreken, in die zin dat zij de relevante hersengebieden activeren (namelijk die hersengebieden die ook zouden zijn betrokken bij het gebruik van het apparaat of het uitvoeren van een handeling).

Neuro-imaging technieken zouden ook kunnen worden gebruikt voor het vaststellen van de mate van activering van specifieke hersengebieden. Zo wordt het mogelijk om die interfaces te kiezen die het best bij de relevante criteria passen. Andere wenselijke criteria waarop interfaces zouden kunnen worden beoordeeld door middel van *neuro-imaging* methoden zijn: cognitieve werkbelasting, betrokkenheid bij een taak, verrassing, tevredenheid of frustratie. Recente evaluatiemethoden op het gebied van MMI zijn ook gericht op emotionele aspecten aan interfaces of interactie tussen mens en machine, zoals plezier, vermaak, betrokkenheid, schoonheid en hedonistische kwaliteit. Er is inmiddels wat *neuro-imaging* onderzoek dat de neurale basis van emoties zoals boosheid, angst, geluk, empathie, verontwaardiging, liefde en zelfs persoonlijke smaak en de invloed van marketing heeft onderzocht. Dergelijk onderzoek zou de neurale substraten van emotionele criteria kunnen genereren die nodig zijn om de efficiëntie van interfaces in onze huidige *experience economy* te beoordelen.

De ontdekking van spiegelneuronen betekent dat de interactie tussen mens en machine zal verbeteren, waarbij de interface vooral menselijk dient te handelen, en er niet zozeer menselijk hoeft uit te zien

toe om robots die eenvoudige handelingen verrichten, op eenzelfde wijze te 'zien' als mensen die deze handelingen uitvoeren. Zelfs bij mensen zonder armen en handen, die geleerd hebben om handelingen met hun voeten uit te voeren, worden dezelfde hersengebieden geactiveerd als bij mensen met handen die *anderen* handelingen zien uitvoeren. Dit impliceert dat ten minste een deel van de codering van informatie in de hersenen gebeurt in de vorm van *doelen* van handelingen in plaats van specifieke handelingen zelf. Sommige onderzoekers suggereren zelfs dat het spiegelneuronensysteem gericht is op reactievoorbereiding (en dus op anticiperen). Met andere woorden, mensen gebruiken de neurale systemen die hun eigen handelingen initiëren om de handelingen van andere organismen te begrijpen. Deze bevindingen suggereren dat interfaces tussen mens en machine er niet erg menselijk *hoeven uit te zien* om effectief te zijn. Maar mensachtig *handelen* kan de herkenningssystemen vergemakkelijken. Om goed te worden 'begrepen' door hun gebruikers moeten de interfaces dus die hersengebieden activeren die het gedrag in kwestie coderen. De neurowetenschappelijke ontdekking van spiegelneuronen zou moeten leiden tot de ontwikkeling van apparaten die meer als mensen handelen en in interacties die meer menselijk (*humanoid*) zijn. Dit zou ook kunnen resulteren in minder zichtbare en opdringerige interfaces, zodat de gebruiker zich kan bezighouden met de taak in kwestie in plaats van zich te moeten concentreren op het aansturen of samenwerken met een apparaat.

Het manipuleren van de neurale mechanismen achter fysiek eigendom kan de hersenen ertoe brengen om fictie als realiteit waar te nemen

Neurowetenschappelijk onderzoek dat op de 'rubberen hand-illusie' is gebaseerd, heeft bijgedragen aan het groeiende bewijs dat onze lichamelijke zelfidentificatie – het vermogen om onderscheid te maken tussen wat buiten en wat binnen ons lichaam ligt – zeer

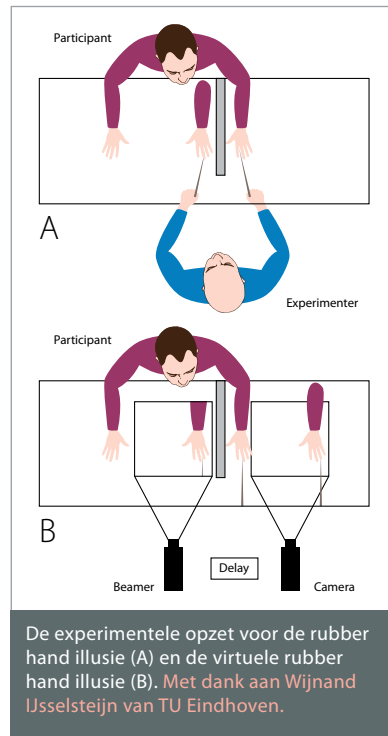
rekbaar is. Het experiment gaat als volgt: wanneer iemand ziet dat een namaak rubberen hand nauwkeurig synchroon met zijn eigen onzichtbare – bijvoorbeeld onder de tafel – hand wordt gestreeld, begint hij de rubberen hand binnen een paar minuten als een echt deel van zijn lichaam te ervaren. De ervaring dat de rubberen hand tot het lichaam behoort, komt doordat de hersenen het vermogen hebben om correlerende multisensorische signalen waar te nemen. Bij de rubberen hand-illusie zijn de tijdelijk gecorreleerde en overeenkomende signalen van gezicht, tastzin en proprioceptie (het gevoel voor positie) voldoende om een

9 Dit betekent dat de handelingssystemen in onze hersenen kunnen worden gestimuleerd ook al doen we zelf fysiek niets (behalve observeren).

gevoel van het eigendom van de rubberen hand op te wekken. Als de signalen niet langer met elkaar overeenkomen, bijvoorbeeld als de deelnemers de namaakhand proberen te bewegen of als een kleine vertraging tussen waargenomen en gevoelde stimulering optreedt,

zal de illusie minder worden of volledig verdwijnen. Recent neurocognitief onderzoek heeft uitgewezen dat gemedieerde omgevingen, zoals door computer gegenereerde beelden of virtuele realiteit (VR), ook ons gevoel van fysiek eigendom kan beïnvloeden en als gevolg daarvan ook ons gevoel van het zelf, zij het in geringere mate. Dit brengt mogelijkheden voor het verbeteren van VR met zich mee.

Een *immersive* virtuele omgeving die een *real-time* reagerende en realistische weergave van ons lichaam bevat en die zich aanpast aan onze lichaamsbewegingen in hun kleinste details, zou waarschijnlijk een significante mate aan identificatie met het virtuele lichaam veroorzaken en zelfs een gevoel van aanwezigheid (*presence*) in die virtuele ruimte. Bovendien is het waarschijnlijk dat zich een gevoel van fysiek eigendom van het virtuele lichaam zal ontwikkelen, afhankelijk van de getrouwheid van de haptische terugkoppeling.¹⁰ De virtuele realiteit zou dan veranderen in reële virtualiteit (*real virtuality*). De aanwezigheid van een geloofwaardig virtueel lichaam zal onze interactieprestaties in een overgebrachte omgeving verbeteren. Voordat dit kan worden bereikt, zijn er nog een aantal onderzoeksvragen te beantwoorden, bijvoorbeeld over de getrouwheid van de weergave van het virtuele lichaam.



De experimentele opzet voor de rubber hand illusie (A) en de virtuele rubber hand illusie (B). Met dank aan Wijnand IJsselstein van TU Eindhoven.

3.3 Neuromimicry

De hersenen kunnen worden gebruikt als model voor de ontwikkeling van interfaces en robotsystemen

De interactie tussen mens en machine wordt nog steeds gehinderd door fundamentele beperkingen. Computers en robotsystemen kunnen niet goed reageren op onverwachte bevelen en situaties, omdat ze ontworpen zijn met een vaste set van reacties.

Om deze beperkingen te overwinnen moeten we

intelligente systemen ontwerpen die in staat zijn om complexe vaardigheden te leren en deze autonoom, in nieuwe en onverwachte situaties, uit te voeren – dat wil zeggen zonder afstandsbediening. Dergelijke autonome robotsystemen zouden nuttig kunnen zijn onder omstandigheden die vijandig of gevaarlijk zijn voor mensen (bijvoorbeeld bij onderzoek- of bouwprojecten in de diepzee en in de ruimte; opsporing en demontage van landmijnen; bouw- en reparatieprojecten in radioactieve, giftige of door ziekten getroffen gebieden). Een manier om de autonomie van huidige kunstmatige systemen en interfaces te verbeteren en deze beter in staat te stellen om te leren van ervaringen, is door middel

¹⁰ Haptische terugkoppeling is een terugkoppeling in de vorm van een gevoel dat door bijzondere input- of outputapparatuur wordt doorgegeven (joysticks, datahandschoenen, enz.) aan de handen of een ander lichaamsdeel.

van *neuromimicry*, dat wil zeggen door het imiteren van de werking van de hersenen.¹¹

We kunnen voor dergelijke autonome leersystemen vooral inspiratie putten uit de neurale netwerken die de verschillende hersenmodules (hersengebieden), bijvoorbeeld die voor geheugen of regulering, met elkaar verbinden. Onze kennis van modulariteit helpt ons te begrijpen hoe neurale modules patronen van zintuiglijke input classificeren en opslaan, hoe zij inputpatronen aan motorische reacties verbinden en hoe zij input- en outputprocessen reguleren voor specifieke taken of doelen. Het zou mogelijk moeten zijn om deze kennis in computersystemen in te voeren om zo intelligente robots te ontwikkelen.¹² In tegenstelling tot de huidige robots die strak omschreven taken in vooraf gespecificeerde omstandigheden uitvoeren, zouden intelligente robots zo leren om autonoom taken in niet-gespecificeerde omstandigheden uit te voeren en zich soepel aan te passen aan onverwachte gebeurtenissen en omstandigheden.



Het onderzoeksprogramma Paco Plus probeert robots zoals deze Armar IIIa te bouwen met geavanceerde cognitieve capaciteiten. Met dank aan Rüdiger Dillmann, Universität Karlsruhe.

Een van de bijkomende problemen bij de ontwikkeling van intelligente robots is de rol van emoties. Het blijkt dat deze emotiegebieden in de menselijke hersenen cruciaal zijn in besluitvormingsprocessen. Emoties beïnvloeden namelijk zowel het leerproces als het geheugen, maar zijn ook van invloed op onze doelen en beslissingen. Maar hoe introduceren we emoties in een robot?

Een ander interessant voorbeeld van *neuro-inspired* technologie-ontwikkeling gebeurt in de onderzoeksgroep van Bart ter

Haar Romeny aan de TU Eindhoven. Deze groep gebruikt het visuele systeem – het best onderzochte deel van de menselijke hersenen – om biologisch geïnspireerde *computer vision*-systemen voor computergestuurde diagnoses (bijvoorbeeld om tumoren of poliepen te vinden) te ontwikkelen. Hun algoritmen zijn gebaseerd op het (menselijk) visuele systeem als een *multiscale* beeldenmachine. Dit specifieke deel van de hersenen bestaat uit verschillende lagen neuronen, die elk andere derivaten van het werkelijke beeld gebruiken. Met andere woorden, elke laag voert andere – en complexere – informatieverwerkende taken uit. Een andere bron van inspiratie voor de onderzoeksgroep van Ter Haar Romeny is de *retina* die wordt gezien als een multiresolutiecamera die een hoop beelden met verschillende resoluties naar het visuele systeem van de hersenen stuurt.

¹¹ De introductie in dit deel heeft al twee voorbeelden van *neuromimicry* gegeven: de *whiskerbot* (een robot met een sensorisch systeem voor verscheidene snorharen gebaseerd op dat van de rat) en het intelligente kunstmatige systeem van Numenta (een machinaal leermodel dat op de structurele en algoritmische eigenschappen van de menselijke neocortex is gebaseerd).

¹² Zie bijvoorbeeld het onderzoeksproject op www.paco-plus.org.

Een grotere kennis van de complexe structuur en werking van de hersenen zou ons in staat stellen om de voordelen van *neuromimicry* in de interactie tussen mens en machine uit te buiten.

3.4 Diverse interfaces

Veel conventionele interfaces werken goed vanwege de flexibiliteit van de hersenen

Ons belangrijkste argument voor de symbiose van de neurowetenschappen en MMI is dat huidige en toekomstige technologische interfaces beter aan de eigenschappen van de hersenen moet worden aangepast. Dit is een belangrijk en relevant probleem in een zich snel ontwikkelende, complexe informatiemaatschappij; een maatschappij waarvoor de hersenen niet specifiek zijn toegerust door de evolutie. Anderzijds moeten we niet vergeten dat de hersenen zich door de eeuwen heen aan alle verschillende soorten omgevingen en instrumenten hebben aangepast. Dankzij de geweldige plasticiteit van onze hersenen zijn wij altijd in staat geweest om niet-biologische bronnen aan te boren en te gebruiken. Neem bijvoorbeeld de kinderen en jongeren van nu: gemiddeld zijn zij veel beter in het gebruik van digitale technologie dan hun ouders. Sommige studies laten zien dat spelers van videogames beter zijn dan niet-spelers in verschillende aspecten van visuele verwerking, bijvoorbeeld het snel in het tijdelijk geheugen verwerken van visuele informatie. Ons menselijk cognitief aanpassingsvermogen betekent dat veel huidige ontwerpen van interfaces al vrij goed werken als een integraal deel van ons eigen probleemoplossende systeem, dat wil zeggen de hersenen. Nu hebben we nog een gedetailleerder begrip nodig van hoe de hersenen in staat zijn hun probleemoplossend vermogen los te laten op een verscheidenheid aan niet-biologische apparaten. Een interessante vraag in dit opzicht is: zouden we via *neuro-imaging* kunnen waarnemen of de hersenen van een gemiddelde gebruiker zich moeiteloos aanpast aan een nieuwe interface? Zulk onderzoek zou essentieel zijn voor de ontwikkeling van nieuwe interfaces, maar ook voor ons begrip van de mogelijk positieve en negatieve effecten van bestaande technologie – zoals videogames – op de hersenen.

Kort samengevat, voor gezonde gebruikers zou het in de meeste gevallen beter zijn om conventionele interfaces te verbeteren door het gebruik van neurowetenschappelijke kennis of *imaging*-technologie dan om elektroden in de hersenen te implanteren, zoals bij een invasieve interface tussen mens en machine. Non-invasieve interfaces brengen minder gezondheidsrisico's (bijvoorbeeld infecties) met zich mee dan invasieve, maar zelfs dan moet hun efficiëntie in vergelijking tot een conventionele interface altijd worden afgewogen.

Het MMI-gebied en vooral de virtuele realiteit (VR) kan ook nuttig zijn voor neurowetenschappelijk onderzoek

Neuro-imaging technologie zoals fMRI vereist dat de deelnemer aan het onderzoek heel stil moet liggen in de scanner en in het bijzonder zijn hoofd stil moet houden. Het ontwerp van het onderzoeksexperiment beperkt zich daardoor tot het bekijken van een film, het horen van geluiden en het uitvoeren van cognitieve taken, zoals onthouden, omdat deze taken allemaal weinig bewegingen vereisen. Een goed ontworpen VR op een computerscherm – bij voorkeur met een breed gezichtsveld en zelfs een VR-bril – zou cognitieve neurowetenschappers de gelegenheid geven om complexere mentale processen te bestuderen zonder dat de deelnemers hoeven te bewegen. Denk bijvoorbeeld aan het gebruik van een rij-simulator om de menselijke ruimtelijke cognitie te bestuderen. Hersenactiviteitspatronen die door realistische VR-stimuli worden opgeroepen, zijn meer ecologisch valide dan hersenactiviteit die door conventionele stimuli wordt opgeroepen. VR maakt het ook mogelijk om hersenactiviteit te bestuderen die verband houdt met de illusie van aanwezigheid in een virtuele omgeving (dat wil zeggen een gevoel van 'er zijn'). Op basis van een van de voorgaande hypothesen (het manipuleren van de neurale mechanismen achter lichaamseigendom) zouden onderzoekers het beïnvloeden van de perceptie van de respondenten van hun lichaam in een virtuele omgeving kunnen overwegen om iets te leren over de neurale mechanismen achter lichamelijke zelfperceptie. Een verbeterde virtuele omgeving die de fysieke vereenzelviging van de gebruiker met zijn virtuele alter ego (avatar) ondersteunt, zet de deur open voor een reeks aan onderzoeksmogelijkheden. Respondenten zouden bijvoorbeeld een experimenteel geïnduceerde, getransformeerde perceptie van het zelf kunnen krijgen op basis van een goed aan te sturen virtueel lichaam. Dergelijke experimenten zouden eenvoudige veranderingen van lichaamsvorm (lichaamsgewicht of lengte) of gecompliceerdere wijzigingen (ras, geslacht, leeftijd, enz.) kunnen omvatten. De werking van de hersenen achter zelfperceptie en zelfrepresentatie die met dergelijke maatschappelijk relevante lichaamstransformaties samenhangen, zouden dan in een fMRI-experiment kunnen worden onderzocht. Belangrijker nog is dat een virtuele omgeving in een fMRI-experiment zou kunnen leiden tot onderzoeken die anders moeilijk zouden zijn (in geval van een kleine klinische populatie) of onethisch (een onderzoeker zal een onderzoeksdeelnemer niet opzettelijk willen blootstellen aan lichaamsagnosie, anosognosie of een verstoord lichaamsbeeld¹³). Meer onderzoek is natuurlijk nodig over de vereiste waarheidsgetrouwheid van het virtuele lichaam: in welke mate is een volledige en juiste weergave van het lichaam van de deelnemer nodig zodat hij of zij dit ervaart als eigendom?

13 Lichaamsagnosie is het onvermogen om (een deel van) het eigen lichaam te herkennen; anosognosie is het onvermogen om de linker- of rechterhelft van de fysieke omgeving waar te nemen; een verstoord lichaamsbeeld is de obsessie met een denkbeeldig of gering defect in het eigen lichaam.

4 Onderwijs op maat

Neurowetenschappelijke toepassingen voor het onderwijs

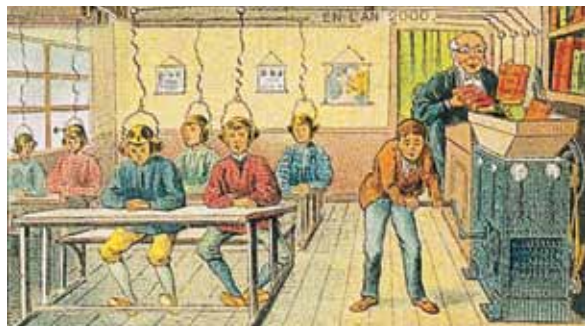


Neurale plasticiteit is het belangrijkste principe achter leren en momenteel het onderwerp van uitgebreid neurowetenschappelijk onderzoek. Het is daarom niet verbazingwekkend dat er veel nationale en internationale initiatieven zijn die de neuro-, cognitieve en onderwijswetenschappen verenigen in de zoektocht naar het zogenoemde *evidence based* leren. Met andere woorden, de disciplines verenigen hun krachten om onderwijscurricula en leermethoden op basis van neurowetenschappelijke en andere inzichten te ontwikkelen. Binnen de neurowetenschappen, maar ook binnen de onderwijspraktijk is de heersende opvatting dat de neurowetenschappen een waardevolle bijdrage kunnen leveren aan het onderwijs. De idee is dat ze dit kunnen doen door te onderzoeken welk soort onderwijs, met welke intensiteit en met welke tijdsduur, voor wie het meest effectief is (gebaseerd op de verschillen in hoe het brein is georganiseerd).

Een van de toekomstige onderzoekslijnen in de onderwijskundige neurowetenschappen (*educational neurosciences*) is onderwijs op maat (*personalised learning*). De onderwijspraktijk – en in mindere mate de onderwijswetenschappen – lijken bijzonder geïnteresseerd te zijn in hoe de neuro- en cognitieve wetenschappen kunnen bijdragen aan op de persoon afgestemd onderwijs. De grootste uitdaging in de onderwijspraktijk is hoe het onderwijs

kan worden afgestemd op individuele behoeften, voornamelijk omdat we geen inzicht hebben in de verscheidene leerstrategieën die mensen toepassen tijdens het leren van een taak. Ons gebrek aan kennis betekent dat het lesmateriaal en de traditionele onderwijsmethoden geen rekening houden met deze verschillen. Veel van de onderwijsmethoden die op school worden gebruikt, zijn niet uitnodigend genoeg voor kinderen, stimuleren hen niet genoeg of passen niet bij de manier waarop ze graag leren. De verwachting van de neurowetenschappen is dat zij de

onderwijswetenschappen van een meer solide basis kunnen voorzien voor het ontwikkelen van theorieën over deze individuele verschillen in leervermogen en -strategieën (zie paragraaf 4.1) en motiveringsaspecten (zie paragraaf 4.2). Dergelijk hersenonderzoek kan ook aanknopingspunten bieden over hoe het onderwijs aan individuele verschillen kan worden aangepast.



'Op school in 2000', zoals voorspeld door Villemard in 1910, uit de collectie van de National Library of France.

Er zijn echter nog heel wat vragen te beantwoorden. Er zijn maar een paar voorbeelden van neurowetenschappelijke bevindingen die zonder terughoudendheid kunnen worden gebruikt voor specifieke aanbevelingen voor onderwijsbeleid en -praktijk. Dat komt omdat we bijvoorbeeld maar een beperkt begrip van de ontwikkeling van de menselijke hersenen hebben, aangezien het meeste fundamentele neurowetenschappelijke onderzoek tot dusverre is uitgevoerd op dieren (met name ratten). Er is meer kwantitatief en histologisch onderzoek op menselijke hersenen nodig, waaronder ook het onderzoeken van mogelijke kritische perioden waarin specifieke hersengebieden of -functies die verband houden met formeel onderwijs (lezen, rekenen, schrijven, enz.), zich optimaal ontwikkelen. Verder is het gebruik van *neuro-imaging* in een onderwijsomgeving nog ver weg (zie paragraaf 4.3), onder andere omdat de huidige technieken te duur of te complex zijn. Of imagingtechnieken een toegevoegde waarde zullen hebben voor bestaande gedrags- of leerresultaatmaatregelen blijft ongewis. Toch zijn er enkele aspecten van neurowetenschappelijk onderzoek die op korte termijn van invloed kunnen zijn op de onderwijspraktijk. Dat is het onderzoek naar sekseverschillen in de structuur en het functioneren van de hersenen, naar spiegelneuronen en naar de ontwikkeling van geheugenverbeterende middelen (zie paragraaf 4.3).

4.1 Individuele verschillen

Verschillen in individuele leervermogens zijn een gevolg van de interactie tussen genen en de omgeving tijdens de neurale en cognitieve ontwikkeling

De ontwikkeling van de hersenen en de ontwikkeling van cognitieve vaardigheden (bijvoorbeeld geheugen, aandacht, besluitvorming, enz.) beïnvloeden elkaar wederzijds. Doordat de hersenen zich ontwikkelen kunnen cognitieve vaardigheden

zich ontwikkelen; het gebruik van deze cognitieve vaardigheden maakt het op zijn beurt mogelijk dat de hersenen zich kunnen blijven ontwikkelen. Zowel genetische als omgevingsinvloeden zijn doorslaggevend bij de ontwikkeling van hersenen en cognitie. De ontwikkeling van beide resulteert in aanzienlijke individuele verschillen in het vermogen van kinderen om te leren en ook hoe, en hoe efficiënt, zij informatie vergaren en ervaring opdoen. Genen geven vorm aan de mechanismen voor hersenontwikkeling, die op hun beurt de neurale circuits voor informatieverwerking en leren specificeren. Genen en hun expressie kunnen door mutatie permanent worden veranderd (bijvoorbeeld met als gevolg intellectuele beperkingen) of zelfs door mildere mutaties die bekendstaan als polymorfismen (bijvoorbeeld met als gevolg IQ- variaties onder de bevolking). Omgevingsfactoren als onderwijs kunnen eveneens de expressie van genen indirect reguleren door neuronale elektrische activiteit gegenereerd door onze zintuiglijke organen (gezichtsvermogen, gehoor, smaak, reukzin, tastzin). Omgevingsfactoren hebben echter een veel omvangrijkere en directere invloed op de ontwikkeling van de hersenen dan ze hebben op genexpressie.¹ Vooral tijdens de eerste levensjaren – ook tijdens de zwangerschap – kunnen negatieve omgevingsinvloeden als isolatie, stress en het gebruik van alcohol en verdovende middelen een beslissende rol spelen in de ontwikkeling van taal,

¹ Eeneige tweelingen hebben bijvoorbeeld al verschillende hersenstructuren bij de geboorte, hoewel zij genetisch identiek zijn.

sociale en intellectuele functies. Andere, meer algemeen belangrijke omgevingsfactoren die bekend zijn uit onderzoek op knaagdieren zijn: vroegtijdige (dat wil zeggen in de kindertijd) zintuiglijke stimulering (resultierend in structurele en functionele *fine tuning* van de onderliggende hersencircuits en verbetering van de informatieverwerking), een verrijkte omgeving (resultierend in een sterke toename van vele eigenschappen van de verbindingen in de hersenschors ofwel de cerebrale cortex²) en goede verzorging door de moeder³ (resultierend in een beter aanpassing aan stress en betere prestaties bij leertests op volwassen leeftijd). Genen en ervaring interacteren om cognitieve en leervermogens te ontwikkelen met als gevolg individuele verschillen. Toch hebben we veel meer kwantitatieve informatie nodig over de vorming van neurale circuits tijdens de ontwikkeling van de menselijke hersenen. Zoals eerder gezegd is het meeste van wat de fundamentele neurowetenschappen weten, gebaseerd op onderzoek bij knaagdieren. En hoewel de onderliggende genetische en cellulaire mechanismen in hoge mate gelijksoortig zijn, zullen verschillen in timing, omvang en complexiteit de ontwikkeling van de menselijke hersenen op een manier beïnvloeden die niet gemakkelijk kan worden geëxtrapoleerd uit knaagdiermodellen simpelweg omdat deze niet eenzelfde complexiteit hebben.

De neurowetenschappen kunnen aan de onderwijswetenschappen een solide biologische basis geven voor de ontwikkeling van theorieën over leren en individuele verschillen

zouden dat kunnen veranderen door de cognitieve wetenschappen – of meer specifiek de onderwijswetenschappen – een biologische basis te geven voor het ontwikkelen van theorieën over leren en individuele verschillen. Bijvoorbeeld door onderzoek naar welke onderwijsmethoden de vorming van de efficiëntste neurale verbindingen teweegbrengt of de bestudering van de rol van spiegelneuronen bij leren en sociale cognitie als er sprake is van een normale ontwikkeling (kinderen lijken spiegelneuronen vaker te gebruiken als zij beter maatschappelijk aangepast zijn [Pfeiffer, 2008]). Dit betekent dat cognitieve theorieën in de toekomst – op een fundamenteel niveau – noties kunnen testen over welke delen van de hersenen betrokken zijn bij verscheidene soorten informatieverwerking. Vervolgens zouden de cognitieve neurowetenschappen theorieën over informatieverwerking met betrekking tot verscheidene soorten leertaken evenals theorieën over individuele verschillen in informatieverwerking moeten valideren, en instrumenten leveren die het gedrag of leerresultaat van individuele leerlingen meten. Dit zal onderwijsonderzoekers in staat stellen om verscheidene strategieën te ontwikkelen en te testen voor het aanpassen van het onderwijs aan individuele verschillen. Zo heeft fMRI-onderzoek bijvoorbeeld aangetoond dat individuele geheugenstrategieën in verschillende hersengebieden zijn gelokaliseerd. Elke strategie kan de geheugenprestaties apart beïnvloeden; de verbale elaboratiestrategie⁴

De onderwijspraktijk werkt – zoals in de inleiding al beschreven – ook steeds met onderwijsmateriaal en -methoden die niet op individuele verschillen in leerstrategieën zijn gebaseerd. De fundamentele en cognitieve neurowetenschappen

2 Het lijkt erop dat verrijking – het introduceren van speelgoed en andere mogelijkheden die uitnodigen tot exploratie – gedeeltelijk de defecten in neuronale verbindingen en leervermogen als gevolg van genetische mutaties kan neutraliseren.

3 In onderzoek bij ratten staat een 'goede' moeder voor veelvuldig likken en verzorgen.

4 Elaboratie is betekenis geven aan iets dat je wil onthouden.

en de visuele inspectiestrategie zijn de effectiefste strategieën voor het onthouden van een serie voorwerpen. Bevindingen als deze kunnen ons helpen om onderwijsmethoden zodanig aan te passen dat leerlingen effectiever kunnen leren.

Er zijn significante verschillen tussen de hersenontwikkeling van jongens en meisjes, die gevolgen kunnen hebben voor de toekomstige onderwijspraktijk

Hoewel de variaties in individuele hersenen significanter zijn, duidt steeds meer onderzoek op belangrijke verschillen tussen de hersenen van mannen en vrouwen. Zo hebben Nederlandse neurocognitieve onderzoekers onlangs aangetoond dat mannen die aan een

depressie lijden, andere stresshormonen in hun hersenen hebben dan depressieve vrouwen. Deze bevinding heeft nu geleid tot de ontwikkeling van verschillende antidepressiva voor mannen en vrouwen. Het is echter niet altijd duidelijk wat de neurale verschillen tussen de geslachten werkelijk betekenen. Zo heeft onderzoek bijvoorbeeld aangetoond dat de hersenen van een man meer volume lijken te hebben op bepaalde gebieden, bijvoorbeeld de temporale kwabben, terwijl andere gebieden groter lijken te zijn bij vrouwen, bijvoorbeeld de voorste cingulaire cortex en de cortex orbitofrontalis. Deze beide gebieden zijn betrokken bij emotionele verwerking. Wat de hersenontwikkeling bij jongens en meisjes betreft, zijn er sterke aanwijzingen dat de hersenen van jongens zich over het algemeen langzamer ontwikkelen, en een paar jaar later dan de hersenen van meisjes volledig volwassen zijn. De gebieden van de hersenschors waarop de 'executieve functies' zijn gebaseerd, neigen bij meisjes een paar jaar eerder volledig gerijpt te zijn dan

bij jongens. Deze executieve functies helpen mensen bij het handelen volgens een plan en om prioriteiten te stellen op basis van sociale en emotionele gevolgen op de korte, middellange en lange termijn. Deze gebieden – die ook verantwoordelijk zijn voor impulsbeheersing – zijn bij mannelijke adolescenten nog niet helemaal gerijpt, en daarom lijden jongens aan het 'jongensprobleem' dat zij speelser en agressiever zijn op de lagere en middelbare school. Of dit gevolgen voor



Er zijn sterke aanwijzingen dat de hersenen van jongens zich over het algemeen langzamer ontwikkelen dan die van meisjes.

het onderwijssysteem heeft, is nog onduidelijk. Dat geldt zeker niet voor de neurowetenschappelijke bevinding dat de hersenfuncties die te maken hebben met taal, zich bij de vrouw eerder ontwikkelen dan bij de man. Zo suggereert bijvoorbeeld fMRI-onderzoek een intensievere activiteit in de hersengebieden voor taal bij meisjes in de leeftijd tussen negen en vijftien dan bij jongens van die leeftijd; meisjes activeren ook meer hersengebieden tijdens taalverwerkingstaken dan jongens. Jongens lijken taalverwerkingsstrategieën van een 'lager niveau' (gebaseerd op de visuele eigenschappen van woorden) te gebruiken,

terwijl meisjes vertrouwen op efficiëntere verwerkingsstrategieën op een 'hoger niveau' (dat wil zeggen het gebruik van een abstracte, conceptuele kennis van woorden) [Burmans et al., 2008]. Dit zou kunnen verklaren waarom meisjes vaker een alfarichting verkiezen boven een bètarichting als hen naar hun opleidingstoekomst wordt gevraagd. Zij voelen zich daar immers op jonge leeftijd al in thuis. In landen waar kinderen later in hun schoolcarrière een richting kiezen, verschillen jongens en meisjes niet zo radicaal in hun keuze tussen alfa en bèta. Dat zou kunnen komen omdat de sekseverschillen in taalontwikkeling dan reeds zijn rechtgetrokken. Onderzoek naar de sekseverschillen in de hersenen neemt een grote vlucht; sommige ontdekkingen, zoals die over taalstrategieën, kunnen zeer wel gevolgen hebben voor de toekomstige onderwijspraktijk.

Adaptieve cognitieve systemen zijn nuttig voor het zodanig aanbieden van onderwijsmateriaal dat het past bij het individuele cognitieve profiel van de leerling

een leerling via een computer lesmateriaal aan te bieden en zijn antwoorden digitaal te registreren. Als de parameters – zoals hoe snel een leerling een bepaald type lesmateriaal leert of hoe snel hij of zij vergeet wat eerder geleerd is – eenmaal zijn ingesteld, zal het model na verloop van tijd kunnen vertellen hoe een leerling zal reageren op specifiek lesmateriaal.

Hoe zou zo'n cognitief leersysteem (of onderwijssoftware) kunnen werken? Het belangrijkste is dat het systeem weet wat de leerling weet. Dat betekent dat het systeem zo veel mogelijk moet worden gebruikt in het leerproces zelf. Door een databank over de voortgang van een leerling op te bouwen kan het systeem een cognitief profiel van de leerling construeren. De onderliggende parameters kunnen worden geschat; zij kunnen bijvoorbeeld aangeven hoe snel een leerling verschillende soorten materiaal leert, wat voor hem moeilijk te leren is en hoe snel hij vergeet wat hij heeft geleerd. Dergelijke cognitieve leersystemen maken het mogelijk om de voortgang van een leerling te volgen, te voorspellen en te reguleren en, het allerbelangrijkst, het leerproces te optimaliseren. Dat laatste kan worden bereikt door cognitieve leersystemen te verrijken op basis van inzichten in metacognitieve methoden (tips over hoe te leren) die de cognitieve psychologie kan aanreiken. Denk bijvoorbeeld aan spatiëren (het leermateriaal in tijdsfasen aanbieden) of elaboratiemethoden (manieren om het materiaal gemakkelijker te laten onthouden). Het nut van dergelijke systemen is het grootst als zij op schoolvakken of vaardigheden waar de leerling individueel aan werkt, worden toegepast (en niet als er in groepen wordt gewerkt). Door te werken met cognitieve leersystemen zullen de leerlingen waarschijnlijk beter gemotiveerd zijn, omdat ze meer keuzen hebben, het leerproces beter begrijpen, relevante feedback ontvangen en beter presteren. Een bijkomend voordeel is dat cognitieve systemen kunnen bijdragen aan *evidence based* onderwijs doordat ze de beoordeling van nieuwe methoden aangeboden via de cognitieve systemen op hun effectiviteit en toepasbaarheid vergemakkelijken. Er blijven echter twee belangrijke uitdagingen over: hoe kunnen we computersystemen ontwikkelen die in staat zijn de geschreven opdrachten van een leerling te analyseren op begrip (semantische analyse)? En: is het nuttig om neurocognitieve maten – die mogelijk de mate van begrip kunnen meten –

Hoewel de huidige staat van kennis ons niet toestaat om generaliserend te spreken over de meest effectieve leermethoden voor specifieke onderwerpen en individuele leerlingen, zijn wetenschappers wel in staat een accuraat model op te bouwen door

toe te voegen (bijvoorbeeld op basis van een EEG) aan het systeem om de antwoorden van de leerling beter te begrijpen?

Tot dusverre is er weinig bewijs voor het bestaan van specifieke windows of opportuniteiten in de hersenontwikkeling die relevant zouden kunnen zijn voor de onderwijspraktijk

De onderwijspraktijk is bijzonder geïnteresseerd in de 'kritische perioden' in de hersenontwikkeling: specifieke, beperkte perioden van neurale plasticiteit waarin zich bepaalde hersengebieden of -functies

ontwikkelen. De zogeheten *windows op opportuniteiten*. In de afgelopen dertig jaar heeft onderzoek aangetoond dat de hersenen bepaalde soorten stimuli op specifieke momenten nodig hebben – meestal in de kindertijd – om de sensorische en motorische systemen normaal te laten ontwikkelen. Een juiste stimulering van de sensorische en motorische systemen is gewoonlijk beschikbaar in elke omgeving, op een zeer fundamenteel niveau, en een vroeg gemis van bepaalde stimuli leidt meestal niet tot onomkeerbare schade, behalve in geval van het binoculaire gezichtsvermogen.⁵ De hersengebieden en bijbehorende sensorische functies zijn gewoonlijk in staat om zich tot op zekere hoogte op een later moment te herstellen. Tot nu toe is het merendeel van het relevante onderzoek echter gedaan bij dieren en veel van het onderzoek had betrekking op de ontwikkeling van sensorische en niet van niet-sensorische vaardigheden. Er is daardoor veel discussie binnen de neuro- en cognitieve wetenschappen over de vraag of deze kritische perioden eigenlijk wel bestaan en hoe belangrijk zij zijn.⁶ Er is ook geen sterk bewijs gevonden voor kritische perioden met betrekking tot vaardigheden die nodig zijn in het formele onderwijs. (Er is wel enig bewijs dat er kritische perioden bestaan voor taalontwikkeling, maar niet voor het leren van een vocabulaire; daar zijn we ons leven lang toe in staat.) Het merendeel van de wetenschappers lijkt het er echter over eens dat het zich ontwikkelende individu niet alles in elke ontwikkelingsfase kan leren. Een kind kan bepaalde vaardigheden niet optimaal leren als het zich nog niet bepaalde fundamentele basisvaardigheden heeft eigengemaakt. Wetenschappers zijn het er ook over eens dat deze kritische perioden van cognitieve en hersenontwikkeling enorm verschillen van kind tot kind in de tijd, maar niet in volgorde. Er is meer onderzoek nodig naar de kritische perioden voor specifieke cognitieve vaardigheden die de basis zijn voor schoolvakken als lezen, schrijven of rekenen.

Het concept van kritische perioden van plasticiteit zou relevant kunnen zijn voor *evidence based* onderwijsvernieuwing zoals onderwijs op maat. Als blijkt dat kritische perioden wel bestaan voor verschillende hersenfuncties of cognitieve functies, zouden we de hersenontwikkeling van leerlingen kunnen ondersteunen door het onderwijs daarop aan te passen.

5 Binoculaire cellen zijn nodig om beide ogen samen te laten werken en zijn de basis voor diepte zien. Als deze cellen niet op vroege leeftijd aan visuele ervaringen worden blootgesteld, worden zij kleiner, gaat het gezichtsvermogen achteruit en gaat het zien van diepte verloren.

6 De OESO was bijvoorbeeld erg terughoudend in haar rapport "Understanding the Brain: The Birth of a Learning Science" in het ondersteunen van de theorie van specifieke windows of opportuniteiten in hersenontwikkeling.

4.2 Motivatie

Emotionele stimuli en motivationele factoren zijn essentieel voor optimaal leren en geheugenconsolidatie

Persoonlijke motivatie en emotionele betrokkenheid zijn van essentieel belang voor een goede informatieverwerking en voor het leren. Consolidatie van het geheugen hangt bijvoorbeeld af van een minimaal niveau van emotionele of motiverende stimuli. Motivatie en

emoties zijn bedoeld om de hersenen te helpen bij het negeren van bepaalde stimuli en gaan impulsief handelen tegen. De neurowetenschappen zien motivatie als een essentiële stimulant voor het zelf overleven en het overleven van de soort (honger, dorst, seks, slaap, enz.).⁷ Anderzijds helpen emoties het individu alert te zijn bij mogelijk belangrijke stimuli. De belangrijkste betrokken hersenstructuur hier is het limbisch systeem.⁸ De taak van dit gebied is een emotionele waarde toe te voegen aan zintuiglijke prikkels, waardoor het ervoor zorgt dat het individu het belang van een specifieke stimulus herkent. De onderwijspraktijk zou zich meer bewust moeten zijn van de rol die fundamentele motivaties en emoties spelen. Negatieve emoties als stress, bezorgdheid en angst maken het moeilijker om te leren, omdat zij het vermogen van de leerling om aandacht te besteden aan de taak in kwestie verminderen. Positieve emoties, als gevolg van het aanpassen van het onderwijs aan de motivatie van de individuele leerling, hebben natuurlijk ook een effect op het leren en de kennisverwerving. Een interessant project van de DANA Foundation over de relatie tussen onderwijs in de kunsten (zoals tekenen, dansen, schilderen, etc.) en betere academische prestaties is in dit verband vermeldenswaardig. De onderzoekers hebben namelijk ontdekt dat *“an interest in a performing art leads to a high state of motivation that produces the sustained attention necessary to improve”*. Als gevolg daarvan leidt *“the training of attention to improvement in other domains of cognition”*.⁹ Er is echter meer neurocognitief onderzoek nodig om aan te tonen dat meer motivatie specifieke neurale *pathways* verandert.

Een leerling moet bovenal emotioneel competent zijn om optimaal te leren, dat wil zeggen, hij moet in staat zijn om zichzelf en zijn impulsieve reacties te beheersen. Onderzoek heeft aangetoond dat het aanleren van impulsbeheersing op jonge leeftijd kan leiden tot toekomstig academisch succes.¹⁰ In de toekomst zouden de neurowetenschappen en cognitieve wetenschappen ons kunnen helpen om te begrijpen hoe we kinderen leren emotioneel competent te worden.

7 Essentiële stimuli worden gereguleerd door grote hersengebieden zoals bijvoorbeeld de thalamus en hypothalamus.

8 Het limbisch systeem is een oeroud systeem in het voorste gedeelte van de hersenen en omvat mede de hippocampus en amygdala.

9 Zie www.dana.org/news/publications voor het jaarverslag 2007 van de Dana Foundation, waarin een essay is opgenomen over de resultaten van een driejarig project getiteld *‘Arts and Cognition’* onder leiding van de bekende neurowetenschapper Michael S. Gazzaniga.

10 Zie het onderzoek van de psycholoog Walter Mischel aan de Columbia University in New York.

De hersenen zijn pas lang na ons twintigste levensjaar volledig gerijpt; dit betekent dat de hersenen tot aan volwassenheid een externe motivator nodig hebben

Recent cognitief neurowetenschappelijk onderzoek toont aan dat de mediale prefrontale cortex rijpt tussen de vroege adolescentie en halverwege de adolescentie tot ver in de volwassenheid. Deze voorste delen van de hersenen zijn

volledig ontwikkeld rond de leeftijd van 25 bij mannen en een paar jaar eerder bij vrouwen. De ontwikkeling van de prefrontale cortex is zeker geen autonoom biologisch proces. Alleen in de allereerste fase van ontwikkeling zijn biologische factoren zoals genen leidend. Omgevingsfactoren bepalen uiteindelijk het goed functioneren van deze hersenstructuren die verantwoordelijk zijn voor de executieve functies. Zoals eerder gezegd stellen de executieve functies de mens in staat om volgens een plan te handelen en om prioriteiten te stellen op basis van sociale en emotionele gevolgen. Het feit dat de prefrontale cortex nog niet volledig gerijpt is, verklaart daarom ten dele waarom adolescenten eerder geneigd zijn om impulsief te handelen en risicovol gedrag te vertonen.¹¹ Zelfreflectie en sociale monitoring zijn ook executieve functies; de prefrontale cortex is daarom van het grootste belang bij leren. Op basis van deze bevindingen kunnen we concluderen dat leerlingen begeleiding nodig hebben bij het plannen en prioriteiten stellen. Een docent (of ouder) moet optreden als zogenoemde ‘externe motivator’; zij moeten de leerling helpen om relevante kennis op te doen en keuzes te maken in dagelijkse situaties in de klas, maar ook bij het plannen van hun toekomstige onderwijsloopbaan. Dergelijke begeleiding door volwassenen moet niet ophouden op iemands achttiende, als iemand wettelijk volwassen is in de westerse maatschappij, maar moet nog een aantal jaren doorgaan. Deze neurowetenschappelijke bevinding staat haaks op Nederlandse onderwijsconcepten, zoals het Studiehuis, die impliceren dat de docent een stapje terug moet doen en dat het onderwijs juist het autonome leerproces bij de leerlingen moet ondersteunen. Neurowetenschappelijk onderzoek suggereert dat een docent niet moet volstaan een passieve facilitator te zijn die desgevraagd aanwijzingen geeft; hij moet juist een proactieve rol spelen en de leerling motiveren om zich bezig te houden met gebieden die de leerling uit zichzelf nooit zou hebben gekozen. Er is echter meer onderzoek nodig, bijvoorbeeld naar de vergelijking van zelf geïnitieerd leren en leren op basis van externe motivatoren.

Het spelen van actiegames verbetert visuele vaardigheden en aandacht

Docenten en ontwikkelaars van onderwijsmateriaal besteden veel tijd aan het motiveren van

leerlingen. En terecht, aangezien motivatie alle onderwijs- en leerprocessen beïnvloedt. Zij kijken vaak jaloers toe als kinderen helemaal opgaan in computergames. De motiverende factoren van het gamen zouden ze graag begrijpen om ze toe te passen in het onderwijssysteem. Een andere vraag die beroepskrachten in het onderwijs belangrijk vinden, is de invloed van gamen op de hersenontwikkeling van kinderen. Het onderzoek dat naar dit onderwerp is gedaan, geeft vooral positieve uitkomsten. Leerlingen die bijvoorbeeld actiegames spelen, zijn beter in staat voorwerpen te volgen, reageren sneller en lokaliseren visuele doelen beter dan niet-spelers. Dezelfde vaardigheden verbeteren zichtbaar bij niet-spelers die deze spelletjes regelmatig gaan spelen. Ander onderzoek toont aan dat slechts

11 Een van de redenen waarom het Amerikaanse Hooggerechtshof in 2004 heeft besloten dat de doodstraf voor jongeren onder de achttien in strijd is met de Amerikaanse Grondwet. Zie paragraaf 5.2.



Personen die actiegames spelen, zijn beter in staat voorwerpen te volgen, reageren sneller en lokaliseren visuele doelen beter dan niet-spelers.

één uur per dag, tien dagen lang een actiegame spelen al resulteert in een aanzienlijke verbetering in ruimtelijke attentie¹² en mentale flexibiliteit; vrouwen profiteren hier overigens meer van dan mannen. Net zoals trainen meestal leidt tot verbeteringen in de uitvoering van een specifieke taak, verbetert het spelen van actiegames een reeks visuele vaardigheden. Actiegames trainen spelers om hun aandacht te verdelen en verscheidene taken gelijktijdig uit te voeren; uit onderzoek blijkt dat het resulteert in veranderingen in de hersenen

die ten grondslag liggen aan de verbetering van een reeks aan visuele vaardigheden. Deze bevindingen suggereren dat educatieve gamesoftware leerlingen (en anderen) kan helpen om hun visuele en ruimtelijke vaardigheden al spelenderwijs te trainen.

4.3 Diverse voorbeelden

De fundamentele neurowetenschap zal helpen bij de ontwikkeling van 'smart drugs' die het leervermogen en de werking van het geheugen bevorderen

Op basis van nieuwe inzichten in de neurobiologische basis van leren, geheugen en cognitie zijn farmaceutische en biotechnologie-bedrijven op zoek naar mogelijke noötropische geneesmiddelen

(cognitieve verbeteraars of 'smart drugs'). Deze geneesmiddelen zijn primair bedoeld om cognitieve problemen bij neurodegeneratieve aandoeningen, zoals de ziekte van Alzheimer of specifieke vormen van mentale retardatie (bijvoorbeeld het fragiele X-syndroom), te bestrijden. De bedrijven richten zich op verscheidene mechanismen die mogelijk een geheugenverbeterend effect hebben. Denk bijvoorbeeld aan neurotransmissie door middel van acetylcholine, waarvan is bewezen dat het betrokken is bij de verbetering van verschillende geheugenprocessen. Een ander voorbeeld is onderzoek naar de mechanismen die aan de basis liggen van langetermijnpotentiatie (LTP)¹³, een mechanisme dat in 1973 ontdekt werd als het cellulaire correlaat van leren en geheugen. Dit heeft geleid tot de ontwikkeling van Ampakines.¹⁴ Andere beoogde mechanismen zijn epigenetische

regulering¹⁵ in geheugenprocessen en de dynamiek achter synaptische connectiviteit. Ten slotte is van meer dan honderd genen vastgesteld dat zij causaal betrokken zijn bij bepaalde vormen van intellectuele beperkingen, waarvoor bepaalde noötropica ontwikkeld zullen worden. Gezien de grote schaal waarop volledig geautomatiseerd *high-throughput* screening¹⁶ onderzoek naar geneesmiddelen plaatsvindt, zal het niet lang duren voor mogelijke noötropica worden gevonden. Met het oog op de economische beloftes van noötropica (geschat op 5 miljoen dollar per jaar) lijkt hun toepassing slechts een kwestie van tijd. Deze geheugenverbeterende middelen worden in de toekomst hoogstwaarschijnlijk ook algemeen gebruikt als 'leer- en of examenpil', net als nu Ritalin en Adderol al geslikt worden door gezonde leerlingen en studenten in Amerika, maar ook in Europa, om hun concentratie voor examens te verhogen.

Het gebruik van neuro-imaging in de onderwijspraktijk is denkbaar, maar nog ver weg

Neuro-imaging technieken worden in het algemeen gebruikt bij onderzoek en in de klinische praktijk, maar sommige wetenschappers achten het denkbaar dat

deze in de toekomst in de onderwijspraktijk zullen worden toegepast. Of dat gaat gebeuren, hangt af van hun gebruiksgemak, de kosten en praktische voordelen voor het onderwijs. Een MRI-scanner is veel te groot en te duur; een EEG is gemakkelijker te gebruiken en goedkoper, maar de spatiële resolutie is erg laag (het is lastig om te bepalen waar in de hersenen precies activiteit plaatsvindt). Er zijn verscheidene technische doorbraken nodig, voordat *neuro-imaging* technieken van nut kunnen zijn voor de onderwijspraktijk.

Op zich zijn er wel een aantal manieren te bedenken hoe *imaging*-technieken bruikbaar kunnen zijn voor onderwijsdoelinden. Door middel van een fMRI kan al zichtbaar worden of het werkgeheugen van een leerling is geactiveerd. Als het werkgeheugen niet geactiveerd is en de leerling fouten blijft maken bij het hoofdrekenen, dan heeft hij duidelijk moeite met het onthouden van de tussenresultaten, een probleem dat specifieke aandacht vereist. Een ander voorbeeld van een interessante toepassing van *neuro-imaging* betreft de mate van bewustzijn van iemand als zijn hersenen informatie aan het verwerken zijn. Geautomatiseerde processen hebben een zwakker effect op de voorhoofdskwabben dan denkprocessen die bewuste aandacht vereisen. Leren volgt gewoonlijk een patroon van zeer bewuste controle en aandacht tot een bijna onbewust functioneren. FMRI-scans kunnen deze processen laten zien zodat bepaald kan worden in hoeverre een leerling een bepaalde vaardigheid zich heeft eigengemaakt (heeft geautomatiseerd). Een EEG kan op een vergelijkbare manier worden gebruikt, bijvoorbeeld om individuele efficiëntie aan te tonen doordat irrelevante informatie niet wordt opgeslagen in het visuele kortetermijngeheugen [Vogel et al., 2005]. Een andere manier waarop een EEG nuttig kan zijn in de toekomstige onderwijspraktijk is door middel van neurofeedback. Dit is een techniek waarbij iemand leert hoe hij de (elektrische) activiteit in zijn hersenschors kan beïnvloeden op basis van EEG-beelden van zijn eigen hersenactiviteit. Tijdens een neurofeedbacksessie krijgt een

12 Ruimtelijke attentie is het vermogen om kleinere afstanden tussen een doel en een afleidend voorwerp te tolereren.

13 LTP is een langdurige verbetering in de signaaltransmissie tussen twee neuronen doordat beiden tegelijkertijd gestimuleerd worden.

14 Deze geneesmiddelen verbeteren het functioneren van de AMPA-receptor die een verbeterde synaptische expressie vertoont bij inductie van LTP.

15 Epigenetische regulering brengt de langdurige aanpassing van DNA en/of bijkomende eiwitten met zich mee, wat zou kunnen leiden tot een levenslange wijziging van de expressie van bepaalde genen.

16 Met behulp van *high-throughput* screening kunnen onderzoekers heel snel miljoenen chemische, genetische of farmacologische testjes uitvoeren om zodoende actieve componenten, antilichamen en genen te identificeren die betrokken zijn bij specifiek biomoleculaire processen.

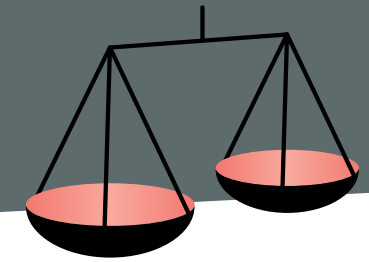
deelnemer feedback van een computer die de hersengolven toont die aanwezig zijn in het relevante hersengebied. Door middel van een specifieke gedachtaak – bijvoorbeeld een vliegtuig in een rechte lijn laten vliegen – wordt de deelnemer in staat gesteld zijn eigen hersenactiviteit te beïnvloeden om zo bijvoorbeeld zijn concentratievermogens te verbeteren. Als de gewenste frequenties aanwezig zijn, krijgen de hersenen (de deelnemer) een beloning, bijvoorbeeld punten in een computergame. Tot dusverre is er nog weinig bewijs dat neurofeedback ook daadwerkelijk kan resulteren in betere cognitieve prestaties, maar het lijkt er wel op dat neurofeedback een effectieve behandeling voor patiënten met ADHD kan bieden.

Net als bij lichaams oefeningen resulteren zowel een mentale simulatie van bewegingen als de observatie van bewegingen in betere prestaties

die het pianostuk fysiek oefenden. Een mentale simulatie van bewegingen bevordert blijkbaar veranderingen in de neurale circuits die betrokken zijn bij het leren van motorische vaardigheden, en verbetert tegelijkertijd de prestaties. Ander onderzoek toont aan dat zelfs het observeren van de bewegingen van anderen ook tot vooruitgang leidt. Het DANA-project over kunstonderwijs en academische prestaties toont bijvoorbeeld aan dat effectief observeren een zeer succesvolle methode is voor het leren van danspassen. Het leren door observatie en het leren door fysiek oefenen bereiken klaarblijkelijk dezelfde effecten in de neurale circuits die dansen ondersteunen. Beide soorten leren betreffen gewone processen in de hersenen, met een grote overlap tussen de hersengebieden die zowel voor observatie als voor beweging worden gebruikt. Het gaat hier om de eerdergenoemde neurowetenschappelijke theorie over spiegelneuronen. Het spiegelneuronensysteem wordt niet alleen door het uitvoeren van een bepaalde handeling geactiveerd, maar ook door het observeren van iemand anders die de handeling uitvoert. Een belangrijke onderzoeksvraag voor de toekomstige onderwijspraktijk is nu of effectief leren door observeren kan worden overgebracht op andere (dan motorische) vaardigheden. Heeft bijvoorbeeld het observeren van een docent die sommen maakt op een schoolbord, hetzelfde effect op het leervermogen van een leerling als het zelf werken aan rekensommen?

Uit onderzoek is gebleken dat mensen die vijf dagen lang een pianostuk voor vijf vingers mentaal – dus in gedachten – oefenden, in staat waren hun hun prestaties opvallend te verbeteren. De hersengebieden die bij de vingerbewegingen betrokken waren, groeiden tijdens de oefenperiode, net als bij deelnemers

5 Evidence-based rechtspraak Neurowetenschappelijke toepassingen voor de justitiepraktijk



In feite zou veel van de huidige kennis die in de cognitieve wetenschappen is verkregen, ook al op de rechtspraktijk kunnen worden toegepast. Toch komt daar in de praktijk nog maar weinig van terecht. Een eenvoudig voorbeeld: rechters neigen ertoe meer geloof te hechten aan verklaringen van de verdachte die hij in een later stadium aflegt dan aan zijn eerste verklaring, ook al weten we dat het geheugen niet nauwkeuriger wordt met de tijd. Ons groeiend begrip van de werking van het geheugen is belangrijk voor vele aspecten van de rechtspraktijk, denk aan ondervragingstechnieken en de status van verklaringen van getuigen en slachtoffers (zie paragraaf 5.1).

Andere, fundamentele neurowetenschappelijke conclusies – bijvoorbeeld de hersenen als een automatisch apparaat dat onze perceptie, aandacht, emoties, oordelen en besluiten stuurt – kunnen van grotere invloed zijn op de rechtspraktijk (zie paragraaf 5.2). Deze recente vindingen zullen de filosofische discussie heropenen over de vraag of mensen werkelijk een vrije wil hebben. Indien dit niet zo blijkt te zijn, dan moet mogelijk het concept van persoonlijke verantwoordelijkheid voor het eigen handelen, worden heroverwogen. Een beter begrip van de interactie tussen neurobiologische en omgevingsfactoren die ons gedrag bepalen, kan waarschijnlijk de overtuiging versterken dat crimineel gedrag het product is van krachten die buiten de macht van de misdadiger liggen. Dat betekent wellicht dat het rechtssysteem zijn aannames over strafrechtelijke verantwoordelijkheid moet veranderen en dat de nadruk komt te liggen op behandelen in plaats van straffen. Er is zorgvuldig onderzoek nodig om te bepalen of dit wenselijk is.

De bijdrage van de neuro- en cognitieve wetenschappen aan het rechtssysteem zal natuurlijk niet beperkt zijn tot de opsporingspraktijk en de rechtszaal (leugendetectie, profilering, hersenscans als bewijsvoering, de bepaling van toerekeningsvatbaarheid of beslissingsondersteunende systemen). Er wordt ook verwacht dat de neurowetenschappen de strafmaat en behandeling van misdadigers zal beïnvloeden, bijvoorbeeld door het verbeteren van de diagnostiek van psychiatrische aandoeningen, de ontwikkeling van betere (op de persoon toegesneden) en andere behandelingen en behandelcombinaties (voor allerlei psychiatrische aandoeningen, antisociaal gedrag en verslaving) en door het verkrijgen van een beter inzicht in het effect van straf op misdadigers en hoe dit van persoon tot persoon varieert.

Samengevat zal onze huidige en toekomstige kennis van de hersenen de rechtspraktijk wellicht meer *evidence based* maken. Maar om neurowetenschappelijke kennis in het rechtsproces te integreren moeten hersenonderzoekers het rechtssysteem begrijpen en

moeten advocaten, officieren van justitie, rechters, politiemensen, etc. een idee krijgen waar de neurowetenschappen mee bezig zijn. Het is belangrijk dat eerste stappen in die richting worden gezet door bijvoorbeeld het opzetten van transdisciplinaire samenwerkingsverbanden. Dit hoofdstuk behelst één van die eerste stappen; het is namelijk gebaseerd op de resultaten van de goed bezochte transdisciplinaire conferentie Justitie en Cognitie die in november 2008 in Zeist is gehouden.

5.1 Het geheugen

fMRI-technologie is (nog) niet geschikt voor leugendetectie

fMRI is nog niet geschikt als systeem voor leugendetectie, ook al brengen inmiddels twee Amerikaanse bedrijven het als zodanig op de markt.¹ Er zijn verschillende redenen waarom fMRI niet geschikt is voor het detecteren van leugens. Ten eerste bestaat er niet iets zoals een 'leugencentrum' in de hersenen. fMRI kan alleen cognitieve processen zichtbaar maken die indirect bij liegen betrokken zijn. Een van de theorieën is bijvoorbeeld dat als iemand liegt, de 'standaardinstelling' van de hersenen – namelijk de waarheid vertellen – moet worden uitgeschakeld. Bij die uitschakeling zou de pre-frontale cortex betrokken zijn; als dit gebied wordt geactiveerd in reactie op vragen over de beschuldigingen ("Heb je hem vermoord?"), is de verdachte schuldig. Maar hoe werkt het detecteren van leugens door fMRI als een schuldige geleidelijk aan overtuigd is geraakt van zijn eigen onschuld? Ten tweede beschrijven fMRI-uitkomsten gewoonlijk een groeps-gemiddelde, omdat de individuele variatie in de manier waarop de hersenen zijn georganiseerd zo groot is. De gebieden die actief zijn op individuele scans kunnen dus verschillen van de gebieden die op de gemiddelde scan oplichten. Bovendien kunnen de verbandingen tussen gebieden binnen de hersenen ook van persoon tot persoon verschillen.²



Er zijn verschillende redenen waarom fMRI niet geschikt is voor het detecteren van leugens.
Met dank aan Scott Huettel, Duke University Medical Center.

Dat maakt het moeilijk om de hersenactiviteit van één persoon via een fMRI-scan te interpreteren. Individuele hersenscans bieden daarom niet de vereiste zekerheid die voor een rechtszaak nodig is. Kortom, fMRI-technologie is nog niet klaar om voor leugendetectedoeleinden te worden gebruikt. Niettemin is het fMRI-onderzoek naar liegen een belangrijke stimulans geweest voor het ontwikkelen van een theorie over leugendetectie, iets wat lange tijd ontbrak.

EEG-registraties van de P300 in combinatie met de schuldige kennistest kan de aanwezigheid van kennis over de criminele daad vrij goed detecteren, maar nog net niet voldoende

Een andere *neuro-imaging* methode die nu voor leugendetectie ontwikkeld wordt – vooral in de Verenigde Staten – is aan de hand van een EEG. EEG-registraties kunnen een hersengolf tonen die 300 milliseconden nadat iets ongewoons is gebeurd, verschijnt. Dit wordt de P300 genoemd die een 'conflictmoment' in

de elektrische activiteit van de hersenen aantoont. De P300 kan nuttig zijn als hij met een schuldige kennistest (SKT) wordt gecombineerd. De test (bijvoorbeeld het tonen aan een verdachte van een foto van de vluchtauto in een fotoreeks met willekeurige auto's) kan criminele kennis aantonen (zoals kennis over het plaats delict), aangezien de foto van de vluchtauto een P300-piek bij de dader opwekt. Het gaat hier dus om geheugendetectie in plaats van leugendetectie. Tot dusverre zijn ongeveer 25 onderzoeken met deze techniek uitgevoerd. De bevindingen zijn eensluidend en de betrouwbaarheid is gemiddeld 80% in geval van schuldige en 90% in geval van onschuldige personen. In een Nederlandse studie werd de P300-piek correct gedetecteerd in 92% van de gevallen dat iemand een bekend gezicht zag. Dat is een nuttige toepassing als iemand lid is van een criminele organisatie, maar dat probeert te verzwijgen. EEG-registraties zijn in feite niet betrouwbaarder dan het meten van de huidgeleiding van de vingers (het transpireren van de verdachte) in combinatie met de schuldige kennistest. De percentages zijn ongeveer hetzelfde, maar de huidgeleidingsmethode is uitgebreider getest (ook met *high-stake* leugens waarbij veel

op het spel staat), goedkoper en gemakkelijker uit te voeren. Het blijft de vraag of de betrouwbaarheidspercentages van deze beide geheugendetectietechnieken goed genoeg zijn om te voldoen aan de criteria van de rechtspraak. (Hoewel het gevaar voor vals positieve uitslagen vrij gering is, zodat de kans dat een onschuldige achter de tralies verdwijnt minimaal is).



De P300 leugendetectie methode wordt ook *brain fingerprinting* genoemd.

¹ Zie www.noliemri.com en www.cephoscorp.com.

² De verschillen tussen individuele hersenstructuren zijn overigens niet zo groot dat het nutteloos is om een gemiddelde te nemen van de hersenscans van verschillende respondenten.

De eerste verklaring van een ooggetuige is van cruciaal belang, omdat elke herinnering daarna de eerdere herinnering 'overschrijft' en verandert

Ons geheugen is een actief en dynamisch systeem, geen passieve archiefkast. Als we ons iets herinneren, wordt het betrokken neurale netwerk tijdelijk instabiel en de herinnering wordt vervolgens in een stabiele vorm opnieuw 'geïnstalleerd'. Dit betekent dat telkens als we ons iets herinneren, die herinnering verandert, gekleurd door de omstandigheden tijdens het herinneren. De oorspronkelijke herinnering aan een gebeurtenis is daarom hoogstwaarschijnlijk de nauwkeurigste en staat het dichtst bij wat werkelijk is gebeurd. De eerste verklaring van een ooggetuige is daarom van essentieel belang. Getuigen zouden bij voorkeur zo snel mogelijk alles moeten opschrijven wat ze zich herinneren. Rechercheurs zouden altijd moeten proberen de eerste verklaring van een getuige te registreren, ook al is deze tegen een familielid of iemand anders afgelegd. En ten slotte, als een getuige plotseling verklaart dat hij zich meer herinnert dan hij eerst deed of een misdrijf pas weken na de gebeurtenis bij de politie aangeeft, zouden de rechercheurs moeten controleren, met wie de getuige in de tussentijd heeft gesproken.

Als de hersenen informatie naar boven halen, halen ze eerst verschillende onderdelen van een herinnering op om ze ten slotte bij elkaar te brengen tot één herinnering; daarom kunnen herinneringen makkelijk onjuist zijn

Onjuiste herinneringen ontstaan gemakkelijk, zelfs bij intelligente onderzoeksdeelnemers. Recente bevindingen uit de cognitieve neurowetenschap bieden een verklaring voor onjuiste herinneringen. Ervaringen laten altijd sporen achter in onze hersenen. Deze sporen worden in kleine stukjes gehakt en in verscheidene delen van de hersenschors opgeslagen, bijvoorbeeld de visuele elementen in de occipitale kwab, de auditieve elementen in de temporale kwab, enzovoorts. Als onze hersenen informatie ophalen, moeten zij al deze verschillende elementen van de herinnering bij elkaar zoeken en gaat er gemakkelijk iets mis. Dit betekent bijvoorbeeld dat als een getuige alleen een vage herinnering aan de dader heeft, slechts een blik op een foto van een verdachte voldoende is om de vage herinnering te vervangen door het gezicht op die foto.

fMRI kan nog niet toegepast worden om onderscheid te maken tussen juiste en onjuiste herinneringen

Verschiedene neurocognitieve studies ondersteunen de notie dat juiste herinneringen op neurale niveau verschillen van onjuiste herinneringen; juiste herinneringen activeren namelijk als enige hersengebieden die betrokken zijn bij het verwerken van waargenomen details. Helaas verschilt het sterk per studie om welke hersengebieden het draait. Dat is gedeeltelijk te wijten aan de aard van de stimuli, maar zelfs bij onderzoeken die dezelfde stimuli gebruiken, hebben juiste herinneringen verschillende hersengebieden geactiveerd. Uit de studies blijkt ook dat er op één specifieke manier, namelijk door middel van het DRM-paradigma³, onjuiste

3 Het paradigma van Deese-Roediger-McDermott (DRM) omvat het gebruik van woordenlijsten die allemaal naar één woord leiden of daarmee samenhangen, maar dat niet in de lijst voorkomt. Als een lijst woorden als 'draad, speld, oog, naaien en scherp' bevat, herinnert een deelnemer zich vaak ten onterechte dat het woord 'naald' ook op de lijst stond.

herinneringen worden opgeroepen, terwijl in het dagelijks leven onjuiste herinneringen op heel veel verschillende manieren ontstaan. Onderzoeksmethoden waarbij de deelnemers zich niet-bestaande amateurvideo's van publieke gebeurtenissen of fictieve voorvallen uit hun kindertijd herinneren, lijken bijvoorbeeld meer op echte onjuiste herinneringen. Het is belangrijk om te weten of de door deze methoden opgeroepen onjuiste herinneringen andere hersengebieden activeren dan echte herinneringen. Daarvoor is meer onderzoek nodig waarbij respondenten zich echte en fictieve levensgebeurtenissen herinneren terwijl ze in een scanner liggen. Als dergelijk onderzoek systematisch laat zien dat juiste herinneringen andere hersengebieden activeren dan onjuiste herinneringen – en dat de gebieden die worden geactiveerd bij juiste herinneringen altijd hetzelfde zijn – dan is er wellicht in de toekomst plaats voor hersenscans bij de bepaling van de waarheidsgetrouwheid van de herinneringen van een ooggetuige of verdachte.

5.2 Vrije wil en verantwoordelijkheid

Neurowetenschappelijke bevindingen over het ontbreken van een vrije wil staan niet haaks op de rechtspraktijk waarin persoonlijke verantwoordelijkheid een belangrijke rol speelt

Het neurowetenschappelijk bewijs voor een mechanische basis van menselijke besluitvorming neemt toe: tegen de tijd dat wij iets willen besluiten, hebben onze hersenen dat al voor ons gedaan. Onlangs

hebben neurowetenschappers aangetoond dat wel tien seconden voordat iemand bewust een besluit neemt, een *highlevel-control* netwerk van hersengebieden al bezig is om de naderende beslissing voor te bereiden, in het betreffende onderzoek of we een knop met onze linker- of rechterhand zullen indrukken.⁴ Of het ook zo werkt voor complexere beslissingen dan het coördineren van een motorische activiteit is nog niet duidelijk. Uit het onderzoek blijkt ook niet duidelijk of de deelnemer in kwestie vrij is om op het allerlaatste moment af te wijken van het 'geautomatiseerde' besluitvormingsproces. Toch heeft de neurowetenschap – op basis van onderzoeken bij *split-brain* patiënten – al wel haar licht laten schijnen op de vraag *waarom* mensen geloven dat zij een vrije wil hebben. Deze onderzoeken tonen aan dat de linkerhersenhelft een module heeft, de '*brain interpreter*', die voortdurend op zoek is naar patronen en verbindingen tussen percepties waarmee een plausibel verhaal gecreëerd kan worden en *achteraf* redenen verzonnen kunnen worden voor bepaald gedrag.

Hebben deze neurowetenschappelijke bevindingen gevolgen voor gangbare aannames over persoonlijke verantwoordelijkheid in de rechtspraktijk? Dat is een moeilijke vraag. Juridische experts vooronderstellen moeiteloos de idee van de vrije wil zonder werkelijk te overwegen in hoeverre een verdachte deze werkelijk heeft. Zij neigen ertoe om uitspraken over opzet – de uitoefening van de vrije wil – te baseren op de omstandigheden waaronder iemand heeft gehandeld. Iemand in een kroeggevecht heeft bijvoorbeeld een pistool getrokken en een schot afgevuurd en iemand die hij niet kende in het been geraakt.

4 Dit onderzoek [Haynes, 2008] is een aanvulling op een beroemd onderzoek van Benjamin Libet in de jaren zeventig en tachtig, dat aantoonde dat er ongeveer een halve seconde zit tussen het besluit van een hersengebied dat betrokken is bij de coördinatie van motorische handelingen, en het moment dat we ons van dit besluit bewust zijn.

De rechter heeft overwogen dat deze persoon met opzet handelde, en veroordeelde de man voor poging tot moord, omdat iemand die opzettelijk een pistool in een volle kroeg afvuurt, wel de intentie moet hebben om iemand te raken.

Tot nu toe gaan neurowetenschappelijke bevindingen over het ontbreken van de vrije wil alleen maar over eenvoudige motorische taken. Op basis van de huidige bevindingen uit de neurowetenschap mogen geen verstrekkende conclusies worden getrokken en mag niemand worden uitgesloten van de wettelijke verantwoordelijkheid voor zijn daden.

Door bevindingen uit het hersenonderzoek verschuift de nadruk in het rechtsproces van straf en vergelding naar behandeling en vergeving

stelsel barmhartiger kunnen maken. Hersenonderzoek kan aantonen dat het gedrag van buitengewoon agressieve personen of mensen met ADHD die de verkeerde behandeling krijgen, het product is van krachten die boven hun macht gaan. In de toekomst zullen neurowetenschappers hopelijk gaan samenwerken met andere specialisten, zoals psychiaters, rechtsdeskundigen en maatschappelijk werkers, om nauwkeuriger diagnoses te stellen van psychiatrische en neurologische aandoeningen en betere behandelprogramma's te produceren.

Een recent voorbeeld van een verschuiving naar een barmhartiger strafrechtsstelsel is de zaak Roper/Simmons. Hierbij bepaalde het Amerikaanse Hooggerechtshof in 2004 dat de doodstraf voor jongeren onder de achttien in strijd is met de Amerikaanse grondwet. Deze beslissing was gedeeltelijk gebaseerd op neurowetenschappelijk onderzoek dat stelde dat de prefrontale cortex bij jongeren nog niet volledig ontwikkeld is. Dit betekent dat adolescenten nog niet goed in staat zijn om voor- en nadelen, en de emotionele impact van hun acties en besluiten, te overzien. Zij vertonen daardoor eerder risicovol gedrag en hebben moeite om hun impulsen te beheersen. In Nederland zet deze neurowetenschappelijke bevinding vraagtekens bij rechterlijke beslissingen om jonge delinquenten die van ernstige misdrijven worden beschuldigd, te berechten volgens het strafrecht voor volwassenen.

Zoals eerder gezegd betekent het feit dat de neurowetenschappen laten zien dat de hersenen in hoge mate geautomatiseerd werken niet dat we misdadigers strafrechtelijk niet verantwoordelijk mogen houden. Tegelijkertijd zou een beter begrip van de hersenen en hoe deze emoties, gedrag, moraliteit genereren, ons strafrechtelijk

5.3 Neurowetenschappelijk bewijs

Veel neuro-imaging data kunnen (nog) niet als bewijs dienen, maar beïnvloeden wel rechters, advocaten en officieren van justitie

In 2008 waren er 912 rechtszaken in Amerika waarbij de hersenwetenschappen een rol speelden. Merendeels brachten advocaten in deze zaken hersenscans in van een verdachte; scans die laten zien

dat de verdachte een hersenbeschadiging heeft, bijvoorbeeld een tumor. Een hersenbeschadiging kan iemands gedrag veranderen; schade aan de prefrontale cortex kan iemand agressiever maken, al wordt niet iedereen die schade aan dat deel van de hersenen heeft, oncontroleerbaar agressief. Hersenscans die een bepaalde hersenbeschadiging aantonen, kunnen daarom nauwelijks iemand van zijn wettelijke verantwoordelijkheid ontslaan en mogen niet als bewijs gebruikt worden. Dit kan in de toekomst veranderen als scans worden gebruikt om bepaalde neurologische aandoeningen en psychiatrische ziekten als schizofrenie, drugsverslaving of autisme vast te stellen. Een ander probleem dat aan het gebruik van hersenscans als bewijsmateriaal kleef, is de individuele variatie in de manier waarop de hersenen zijn georganiseerd, hetzelfde probleem als bij het gebruik van fMRI als leugendetectorapparaat. De bevindingen van fMRI beschrijven gewoonlijk een groepsgemiddelde, dus het is moeilijk om de hersenactiviteit van één persoon middels een hersenscan te interpreteren. Toch kunnen hersenscans – ook als zij niet als bewijsstuk mogen dienen – een rechter of jury op andere gedachten brengen en de laatste twijfel over boze opzet van de verdachte wegnemen. Rechters, advocaten en officieren van justitie zijn over het algemeen geneigd om veel waarde te hechten aan de 'harde' gegevens van een hersenscan. Recent onderzoek [Weisberg et al., 2008] heeft aangetoond dat de simpele aanwezigheid in een tekst van triviale zinnen die beginnen met "Hersenscans tonen aan dat ..." een wetenschappelijke bewering geloofwaardiger maken voor leken en zelfs voor studenten in de hersenwetenschappen. Daarom moeten hersenonderzoekers zich ervan bewust zijn dat hun interpretatie van neurowetenschappelijke data van grote invloed kan zijn op het succes van de bewijsvoering. Rechters, advocaten en andere juridische experts moeten de waarde van dergelijke gegevens niet overschatten.



Rechters, advocaten en officieren van justitie zijn over het algemeen geneigd om veel waarde te hechten aan de 'harde' gegevens van een hersenscan. Met dank aan Mirjana Vrbaski.

Voordat hersenscans worden toegestaan als bewijs in de rechtszaal, zal er eerst een stevig juridisch en ethisch debat moeten worden gevoerd over het concept van 'cognitieve privacy'. Momenteel kan iemand wettelijk worden gedwongen om vingerafdrukken, bloed, weefsel voor DNA-tests af te geven en foto's van zichzelf te laten nemen. Moet datzelfde voor hersenscans gelden? En moeten *neuro-imaging* data dezelfde privacystatus hebben als genetische informatie? Tenzij de wet wordt veranderd in Nederland, zullen de hersenen wettelijk een privé domein blijven.

Onze groeiende kennis van de hersenen zal bijdragen aan een lijst met risico-indicatoren voor crimineel gedrag, waardoor de trend naar preventief strafrecht wordt versterkt

tonen of het (zeer) waarschijnlijk is dat iemand een misdaad zal plegen. Er is een groeiende druk – onder invloed van de strijd tegen terrorisme – om deze strategie toe te passen en misdadigers op heterdaad te betrappen. Onze groeiende kennis van neurologische aandoeningen, psychiatrische ziekten, stress, agressie, empathie, etc. zal ongetwijfeld bijdragen aan een lijst van risico-indicatoren voor crimineel gedrag. Tegelijkertijd zullen (neuro)biologische risico's waarschijnlijk geen doorslaggevende factor vormen bij het nemen van preventieve maatregelen. De ernst van de verwachte misdrijven en de waarschijnlijkheid dat zij zich daadwerkelijk zullen voordoen, zijn te onzeker als zij alleen op (neuro)biologische risicofactoren zijn gebaseerd. Hoe groter de mogelijke rol van (neuro)biologische gegevens echter is, hoe groter de rol van risicoanalyses en preventief strafrecht. Tegelijkertijd zal een betere kennis van (neuro)biologische en andere risicofactoren helpen bij de ontwikkeling van strategieën om te voorkomen dat kinderen en volwassenen – opnieuw – in een crimineel leven terechtkomen. Dit is prijzenswaardig, maar zou niet moeten leiden tot wat de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) in 2002 een *“public health approach to crime”* heeft genoemd. Een gemedicaliseerde benadering van crimineel gedrag heeft namelijk één belangrijk nadeel: objectieve gezondheid bestaat niet. Gezondheid hangt af van maatschappelijke normen en ziekte is een toestand die afwijkt van het ideaal van de relevante persoon of van een statistisch gemiddelde. Een volksgezondheidsbenadering van misdaad zou daarom kunnen resulteren in een scenario waarin maatschappelijke risico's en kosten bepalen wie 'gezond' is en wie niet, waarbij de laatste groep mogelijk wordt onderworpen aan een preventieve behandeling, vervolging of opsluiting. Onze groeiende kennis van (neuro)biologische risicofactoren mag ons er niet toe brengen om de geestelijke gezondheidszorg te gebruiken als clandestiene manier om preventief strafrecht toe te passen.

Sinds de Criminele Inlichting Eenheid (CIE) in 1985 voor het eerst bij de Nederlandse politie werd geïntroduceerd, maakt de Nederlandse politie steeds meer gebruik van profielen en risico-indicatoren, dat wil zeggen van gegevens die

6 De voortgang in de neuro- en cognitieve wetenschappen

Ondanks meer dan 150 jaar van onderzoek staan de neuro- en cognitieve wetenschappen nog in de kinderschoenen. Dat is niet verwonderlijk als we ons realiseren dat de menselijke hersenen het meest gecompliceerde systeem zijn dat de mens kent. Inmiddels zijn de onderzoeksinspanningen exponentieel toegenomen. Sinds 2004 trekt de jaarvergadering van de Amerikaanse *Society for Neuroscience* meer dan 30.000 mensen die actief zijn in alle takken van het hersenonderzoek.

Een experimenteel wetenschapsveld als dat van de neuro- en cognitieve wetenschappen is momenteel vooral technologiegestuurd; dat wordt duidelijk als we naar de geschiedenis van het veld van de neurowetenschappen kijken. Elke nieuwe (onderzoeks)technologie heeft het veld een grote stap voorwaarts bezorgd. Dat kan worden geïllustreerd aan de hand van vele voorbeelden, waarvan er hier maar een paar genoemd zullen worden. Bijvoorbeeld de *patch-clamp*-technologie in de neurofysiologie (waardoor onderzoekers de activiteit van specifieke individuele neuronen in het centrale zenuwstelsel kunnen registreren); de veelheid aan instrumenten die de genetica leveren (waardoor we functies aan moleculen op alle mogelijke niveaus van hersenfunctioneren kunnen koppelen); de uitvindingen die niet-invasieve beeldvorming van activiteit in functionerende hersenen mogelijk maken (zodat het eindelijk mogelijk is om hogere functies in de hersenen te koppelen aan activiteiten in het onderliggende neurale substraat¹). Dergelijke doorbraken zijn erg moeilijk te voorspellen, zelfs voor insiders.

In dit hoofdstuk worden de belangrijke neurowetenschappelijke vragen die nog openstaan benoemd, en ook waar nieuwe technologieën momenteel worden ontwikkeld of verwacht.

Een heel belangrijk aspect van de hersenwetenschappen is het interdisciplinaire karakter ervan. In de beginjaren kregen hersenwetenschappers de Nobelprijs voor uitstekend anatomisch werk en later voor werkzaamheden in de fysiologie, biofysica, moleculaire biologie, enzovoorts. Momenteel staan vooraanstaande neurowetenschappelijke vakbladen meestal vol artikelen die belangrijke vragen over de hersenen pogen te beantwoorden met een veelheid aan technieken, meestal in interdisciplinaire samenwerkingsverbanden van wetenschappers met verschillende achtergronden en ervaring. Met een beetje overdrijving kan geconcludeerd worden dat er veel kennis beschikbaar is over de verschillende onderdelen van de hersenen. Niets is nog compleet, maar er is uitgebreide kennis beschikbaar

¹ Met 'neuraal substraat' wordt de verzameling hersenstructuren bedoeld die ten grondslag liggen aan specifiek gedrag of een psychologische toestand.

over de gedetailleerde anatomie van de hersenen, over de manier waarop individuele neuronen informatie verwerken en hoe zij met elkaar communiceren, hoe de belangrijkste sensorische inputsystemen informatie verzamelen en weergeven en hoe outputsystemen (zoals spieren, klieren, enz.) worden aangestuurd. Ondanks deze enorme en voortdurend groeiende verzameling van feiten over de hersenen, zijn er nog steeds veel obstakels te overwinnen als we meer inzicht in de werking van de hersenen en de geest willen krijgen. Hieronder zijn de hindernissen in willekeurige volgorde genoemd, die allemaal nog een grote doorbraak in onze experimentele vaardigheden en/of conceptuele ideeën vereisen.

- Een gebrek aan concepten over hoe zo'n enorm complex systeem als de hersenen moet worden geanalyseerd. Nieuwe takken in de wetenschap als systeembioïogie² zijn begonnen met de aanpak van dit probleem, maar er is nog geen oplossing in zicht. We voelen ons soms als scheikundigen in de tijd vóór het periodiek systeem.
- Hoe om te gaan met de dynamische aspecten van de hersenen? Het soort van analyse dat in de afgelopen eeuw is gebruikt (histologie³, genetica, maar ook fysiologie en beeldvorming) hebben ons model van de hersenen vertekend tot een nogal statisch model. Maar inmiddels is duidelijk dat membranen, cellen en verbindingen tussen cellen heel dynamisch zijn op een schaal van seconden, uren, dagen en jaren. Dynamische systemen vergemakkelijken het inpassen van deze belangrijke (neuro)biologische eigenschappen, maar vormen ook een groot probleem voor ons fundamenteel begrip van hoe de organisatie van de hersenen in stand wordt gehouden.
- Het slaan van een brug tussen het moleculaire niveau en hogere cognitieve functies. Deze ontwikkeling, die vooral begonnen is met de mogelijkheden van de genetica en die van in-vivo beeldvorming, maakt in principe het relateren van hogere cognitieve functies aan moleculen in de hersenen mogelijk. Afgezien van een paar duidelijke ziektegevallen is het echter helemaal niet duidelijk welke soorten conceptuele theorieën nodig zijn om dergelijke relaties te beschrijven. Het wordt steeds duidelijker dat bij elke hogere cognitieve functie vele verschillende neurotransmittersystemen en vele genen zijn betrokken.
- Het onderzoek naar hersenfuncties heeft zich vooral geconcentreerd op neuronaal functioneren, maar het is inmiddels duidelijk dat er ook andere celtypen in de hersenen aanwezig zijn (samengevat als gliacellen) die de neuronen met een factor tien in aantal overtreffen en die minstens zo belangrijk zijn voor het functioneren van de hersenen. Hun precieze rol moet nog verder worden onderzocht.
- Uit veel onderzoek en conceptuele modellen wordt duidelijk dat in de hersenen op verschillende plaatsen informatie wordt verwerkt en opgeslagen. Dit concept komt niet erg overeen met het intuïtieve verlangen van wetenschappers om een plekje in de hersenen te vinden voor elke functie die we vast stellen (de zogenoemde lokalisatiegedachte). Er zijn nieuwe theorieën nodig om beide manieren van denken in een nieuwe theorie te integreren, die aan beide mogelijkheden recht doet.
- De organisatie van de hersenen is zo complex en uitgebreid dat gemakkelijk kan

2 Systeembioïogie is een gebied dat zich richt op het systematisch bestuderen van complexe interacties in biologische systemen met gebruik van een nieuw perspectief, namelijk integratie in plaats van reductie. Zie www.wikipedia.org.

3 Histologie is het onderzoek van gefixeerd (dat wil zeggen niet-functionerend) weefsel, in dit geval van hersenweefsel, dat als dunne plakjes onder een lichtmicroscop wordt gelegd.

- worden aangetoond dat het bouwplan ervan niet in ons DNA kan liggen. Het meest waarschijnlijk is dat hogere niveaus van zelforganisatie de ontwikkeling van de hersenstructuren reguleren. Vele wetenschappelijke disciplines zijn momenteel bezig met het analyseren van complexe (dynamische) systemen. Het ontwarren en onderzoeken van deze organisatieprincipes in de hersenwetenschappen zal hoogstwaarschijnlijk toepassingen vinden op vele andere terreinen in de maatschappij.
- In het afgelopen decennium hebben de mogelijkheden van computergestuurde benaderingen een niveau bereikt dat ons buitengewoon goed kan helpen om het functioneren van de hersenen te begrijpen. Het nieuwe Blue Gene Project en acties van de internationale gemeenschap van neuro-informatici⁴ zijn voorbeelden van deze ontwikkeling. Van deze projecten wordt verwacht dat zij het hersenonderzoek vooruit zullen helpen op dezelfde manier als het klonen van het menselijke genoom de genetica vooruit heeft geholpen. Om de werking van de hersenen helemaal te ontrafelen, zal echter veel meer computervermogen nodig zijn.
 - Vanuit experimenteel oogpunt is het gelijktijdig registreren van de activiteit van vele neuronen en neurale structuren met een hoge ruimte- en tijdsresolutie nog steeds noodzakelijk om deze vervolgens in verband te kunnen brengen met hogere hersenfuncties. Als de verbeteringen alleen op dit gebied zullen plaatsvinden, dan zal het echter alleen maar meer data opleveren en geen kennis. De sleutel tot vooruitgang zal samengaan met een parallelle ontwikkeling van nieuwe concepten over hoe deze kennis moet worden geïntegreerd, waarbij alle disciplines die bijdragen aan de hersenwetenschappen betrokken zijn.

Alle bovengenoemde vragen en onderwerpen (die geenszins uitputtend zijn) zullen op een gegeven moment leiden tot nieuwe ontwikkelingen in elk van de vier toepassingsgebieden die in deze publicatie wordt beschreven. Onze kennis van het functioneren van de hersenen zal de komende decennia ongetwijfeld sterk toenemen. Ook al konden wetenschappers zich vijftig jaar geleden niet voorstellen dat de structuur van het DNA of het gedetailleerd functioneren van ionenkanalen in membranen achterhaald zou worden, of dat ze hersenactiviteit bij levende mensen zouden kunnen volgen, niettemin past bescheidenheid bij voorspellingen over onze kennis over vijftig jaar.

4 Neuro-informatica is een onderzoeksgebied dat zich richt op de integratie van gegevens op verschillende niveaus van de hersenen door het ontwikkelen van neurowetenschappelijke gegevens- en kennisbanken, analytische en modellerende instrumenten en computermodellen. Zie www.incf.org.

7 Kansen voor de toegepaste neuro- en cognitieve wetenschappen

De bekende cognitieve neurowetenschapper Antonio R. Damasio, die ontdekte dat emoties een centrale rol spelen bij de besluitvorming bij de mens, heeft eens in een interview gezegd: "*Knowing about the workings of the mind and brain can help us deal more effectively with the social problems we face today.*" Verscheidene onderzoeksvragen en hypothesen – of *brain visions* – die aan het begin van dit hoofdstuk zijn weergegeven, ondersteunen deze woorden van Damasio. Zij tonen aan dat zijn voorspelling waarheid zou kunnen worden in zowel de nabije als verre toekomst. Tenminste, als we het concept *social problem* ruim interpreteren met inbegrip van gezonde voeding, zwaarlijvigheid, de interactie tussen mens en techniek, onderwijs, gamen, jeugdcriminaliteit, enzovoorts. Vanzelfsprekend moeten we nog veel leren over hoe de hersenen en geest werken, en sommige toepassingen – bijvoorbeeld leugendetectie – zijn niet zo simpel gebleken als verwacht. Bovendien zal meer kennis over de neurale mechanismen achter ons gedrag niet altijd leiden tot spectaculaire nieuwe toepassingen, of sensationele oplossingen bieden voor oude problemen. Maar onze groeiende kennis van de hersenen zullen onmiskenbaar een zeer waardevolle bijdrage leveren aan bestaande wetenschappelijke en niet-wetenschappelijke kennis en deskundigheid op vele verschillende toepassingsgebieden.

Daarom richt het laatste deel van deze publicatie zich op vier voorwaarden die ervoor kunnen zorgen dat de neuro- en cognitieve wetenschappen een significante en positieve bijdrage zullen blijven leveren aan zowel de wetenschap als de maatschappij. Deze vier voorwaarden zijn naar voren gekomen tijdens de vergaderingen van de werk- en stuurgroep van het STT-project *Brain Visions*. Van de hersenwetenschappen wordt verwacht dat zij:

- trachten een juist evenwicht te vinden en dit in stand houden tussen het doen van beloften en het voorkomen van hypes, door oversimplificatie en overwaardering van hun wetenschappelijke bevindingen te voorkomen of bestrijden (paragraaf 7.2);
- de trend naar interdisciplinair onderzoek¹ voortzetten om de succesvolle wetenschappelijke ontwikkeling van het gebied te ondersteunen en naar een alles omvattende theorie over de hersenen toe te werken (paragraaf 7.3);
- een toename van transdisciplinair onderzoek² stimuleren om maatschappelijk relevante toepassingen te bevorderen en neurowetenschappelijke en cognitieve kennis in verschillende relevante praktijken te verspreiden (zie paragraaf 7.4, dat enkele thema's

1 Interdisciplinair werken omvat het aanpakken van een probleem vanuit het perspectief van verschillende wetenschappelijke disciplines, waarbij concepten, methoden en gegevens worden geïntegreerd.

2 Transdisciplinair verwijst naar de integratie van wetenschappelijke en niet-wetenschappelijke kennis (dat wil zeggen de deskundigheid van patiënten, docenten, consumenten, enz.).

- omvat die mogelijk geschikt zijn voor dergelijk transdisciplinair onderzoek);
- een onderzoeksagenda en publieke discussies opzetten over de ethische, juridische en sociale gevolgen van neuro- en cognitief wetenschappelijke bevindingen (paragraaf 7.5).

Het spreekt voor zich dat de hersenwetenschappen alleen aan die voorwaarden kunnen voldoen in samenwerking met andere partijen (overheid, bedrijfsleven, relevante beroepspraktijken en gerelateerde wetenschappelijke disciplines). Maar voordat we inzoomen op de voorwaarden, kijken we eerst naar de motieven achter de verwachte, brede invloed van de neuro- en cognitieve wetenschappen op de maatschappij.

7.1 Een brede invloed op de samenleving

Een belangrijke boodschap van deze publicatie is dat de kennis van de neuro- en cognitieve wetenschappen onvermijdelijk leidt tot innovatie in onderzoek en ontwikkeling op ten minste vier verschillende terreinen in de samenleving: voeding, onderwijs, mens-machine-interfaces en de rechtspraak. Er zijn echter ook andere terreinen – die niet in deze publicatie staan beschreven – waarop de toenemende inzichten op het gebied van hersenen en cognitie eveneens tot nieuwe toepassingen zullen leiden. Twee hiervan worden specifiek genoemd: de gezondheidszorg en de krijgsmacht of nationale veiligheid.

De meest voor de hand liggende toepassing is uiteraard de gezondheidszorg. Hierbij zal de invloed van onze toenemende kennis van de hersenen in de vorm van nieuwe geneesmiddelen, nieuwe technieken voor therapeutische doeleinden en nieuwe diagnostiek merkbaar worden. Tenslotte is ook het merendeel van het hersenonderzoek gericht op een medische toepassing. Dat is niet zo verwonderlijk met twee miljard mensen die wereldwijd aan hersengerelateerde ziekten lijden en, volgens het *Neurotechnology Industry 2008 Report*,³ met inkomsten in de wereldwijde neurotechnologiesector (medicijnen, apparatuur en diagnostiek) die in 2008 met 8,3% toenamen tot 130,5 miljard dollar. De medische sector wordt gezien als hét marktsegment met de meeste potentie.

Een ander gebied waarin men verwacht sterk te kunnen profiteren van neurowetenschappelijk onderzoek is de krijgsmacht of nationale veiligheid. Veel neurowetenschappelijk onderzoek heeft de aandacht getrokken van nationale krijgsmachtonderdelen, bijvoorbeeld het *Cognitive Technology Threat Warning System* (CT2WS) van DARPA dat eerder is beschreven. Andere aandachtsgebieden van de krijgsmacht zijn: het verbeteren van het uithoudingsvermogen en de mentale prestaties van soldaten (bijvoorbeeld medicijnen om soldaten die een slaapttekort hebben alert te houden) of informatiesystemen om de waarneming van soldaten te ondersteunen.⁴

Tot nu toe richtten wetenschappelijke inzichten en technologieontwikkeling zich op de wereld om ons heen (bijvoorbeeld het beheersen van onze omgeving, het vergroten van de materiële kwaliteit van ons leven, het bevorderen van onze gezondheid, enz.). Dat is volstrekt anders met het genetisch en neurowetenschappelijk onderzoek; die gaan namelijk

3 Zie www.neuroinsights.com.

4 Voor een overzicht zie het boek *Mind Wars: Brain Research and National Defense* [Moreno, 2005].

niet zozeer over de wereld om ons heen, maar over onszelf: ons biologisch erfgoed, onze verborgen (genetische) blauwdruk en ons gedrag – al dan niet bewust – die onze identiteit en persoonlijkheid vormen, tot en met de innerlijke wereld van onze gedachten en onze geest. We staan aan de vooravond van de ontrafeling van de biologische grondslagen en organische werking van enkele van de intiemste aspecten van ons leven. Als we zover komen dat we de werking van de hersenen en de geest volledig begrijpen, zullen we ook begrijpen hoe we zelf denken en ons gedragen; kennis die potentieel relevant is voor elk maatschappelijk domein. Bovendien zal het inzicht in onszelf alleen maar toenemen doordat verschillende vormen van sociaal gedrag (onderhandelen, imitatie, moreel oordelen en eerlijkheid) steeds vaker het onderwerp zijn van neurowetenschappelijk onderzoek. Dit opkomende gebied van sociale cognitieve neurowetenschappen tracht sociaal gedrag te begrijpen in neurobiologische termen.⁵

De invloed van neurowetenschappelijke bevindingen op de maatschappij zal vermoedelijk groter zijn dan ooit het geval was of zal zijn voor genetisch onderzoek, omdat de meeste mensen inmiddels denken dat ons brein meer over onszelf vertelt dan ons genetisch profiel. We identificeren onszelf nu eenmaal meer met ons gedrag⁶ dan met ons biologisch erfgoed. Maar belangrijker nog, 'neuraal essentialisme' lijkt veel vaster verankerd dan genetisch essentialisme.⁷ Socioloog Alex Mauron [2003] legt dit als volgt uit: "*Genomes are inherently replicable... Brains are precisely the opposite. Because their structure does not come about by merely 'unwrapping' some pre-existing genetic program, but by the constant interplay of internal developmental processes and external stimuli, they are inherently unique and irreproducible... This is the way the brain provides a much better material home for the numerical and biographical identity of persons than the genome does. Every brain necessarily has a history of its own and thus much more resembles the human 'itself' than the static database represented by the genome.*"⁸ Kortom, de genetische aspecten en omgevingsaspecten van iemands persoonlijke geschiedenis staan 'geschreven' in zijn brein. De vooraanstaande Britse neurofarmacoloog Susan Greenfield stelt dat onze geest niets minder is dan een op maat gemaakt brein (*the mind is nothing less than a personalised brain*): een brein dat zich vanaf de conceptie aanpast onder invloed van onze genen en onze biologische en sociale omgeving. Verklaringen – van bijvoorbeeld gedrag – op basis van hersenonderzoek kunnen daarom (in theorie)⁹ volledig zijn, terwijl verklaringen op basis van genetisch onderzoek altijd onvolledig zullen blijven.

5 Voorbeelden van sociaal neurowetenschappelijk onderzoek zijn studies naar spiegelneuronen met betrekking tot empathie en studies over de werking van de neurotransmitter oxytocine in relatie tot sociale herkenning, binding en vertrouwen.

6 Sommige mensen denken dat ons brein ons meer over onszelf vertelt omdat het geheugen (in plaats van ons gedrag) in de hersenen zetelt en ons in de kern van de zaak maakt tot wie wij zijn.

7 Neuraal of genetisch reductionisme zijn vormen van biologisch reductionisme. Een neuraal of genetisch essentialistisch standpunt stelt dat gedrag (seksualiteit, crimineel gedrag) volledig verklaard kan worden in biologische termen: neurale mechanismen of genen. De overtuiging is dat een persoon gelijkstaat aan zijn genen of zijn neuronen die op een bepaalde manier werken.

8 Hoewel epigenetisch onderzoek heeft aangetoond dat de *expressie* van genen niet zozeer statisch is, en onder invloed van omgevingsfactoren in meer dan een generatie kan veranderen.

9 In theorie, omdat er nog vele doorbraken nodig zijn voordat we volledig inzicht hebben in de hersenen en de geest, zoals genoemd in paragraaf 1.6.

Veranderingen in het denken over onszelf

Naast de grote invloed van nieuwe toepassingen op verschillende terreinen is er ook de invloed van de neurowetenschappen op ons denken; mensen proberen zichzelf, anderen en hun gedrag steeds vaker te verklaren op basis van hun begrip van (de werking van) de hersenen. Deze verschuiving in ons denken is tot stand gekomen onder invloed van de toenemende belangstelling van de media voor de uitkomsten van hersen- en cognitief onderzoek. Dit heeft als gevolg dat mensen steeds vaker gebruikmaken van taal, concepten en verklarende logica die uitdrukking geven aan de idee dat de hersenen de plek zijn waar onze identiteit zetelt. Sommige sociale wetenschappers hebben het in dit verband over '*folk neurology*'. Zo noemen veel mensen het plezier dat ze ervaren na een fysieke inspanning een 'endorfinekick', of ze gebruiken termen uit de neurowetenschap om hun verslaving aan alcohol te verklaren: "*I am not an alcoholic, I am endorphin challenged*" [Vrecko, 2006]. Ook de Nederlandse neurowetenschapper Peter Hagoort voorspelt dat neurowetenschappelijke expertise steeds vaker door het gewone publiek gebruikt zal worden om gedrag te verklaren: "*Ik zie al een patiënt voor me die in 2025 bij de huisarts komt en zegt: 'Ik denk dat het aan mijn amygdala ligt' in plaats van: 'Ik denk dat ik lijd aan agorafobie'*" [Neurofederatie, 2006].

Er zit natuurlijk ook iets aantrekkelijks aan de gedachte dat de hersenen de centrale zetel van onze identiteit vormen. Vooral omdat recent onderzoek uitwijst dat de hersenen veel plastischer zijn dan voorheen werd aangenomen. Dit wordt het beste geïllustreerd door de beroemde neurowetenschappelijke plasticiteitsstudie over jongleren. Bepaalde gebieden van de hersenen die betrokken zijn bij het jongleren – het waarnemen van beweging en het kunnen voorspellen waar de bal terecht komt – namen gestaag toe in omvang tijdens een training van drie maanden. Maar zodra de proefpersonen ophielden met jongleren, namen die hersengebieden meteen ook weer af in omvang. Dergelijke studies dragen bij aan het idee dat *als* de hersenen de oorsprong van ons gedrag en zelfs onze identiteit zijn, en de hersenen bovendien uiterst flexibel zijn, we onszelf kunnen veranderen door onze hersenen te trainen. Of, zoals de ondertitel van het zeer populaire boek *Het Maakbare Brein* van de Nederlandse neuropsycholoog Margriet Sitskoorn het uitdrukt: "Gebruik je hersens en word wie je wilt zijn." Hoe wijdverspreid dit idee is, blijkt bijvoorbeeld uit de populariteit van de Nintendo DS Light *Brain Games*, maar ook uit de trend van een leven lang leren (dat wil zeggen het idee dat het nooit te laat is om iets te leren).¹⁰ Dergelijke algemene ideeën zijn typisch voor het optimisme dat vaker zichtbaar is in de eerste fasen van een wetenschappelijk veld dat snel tot ontwikkeling komt.

7.2 Hoge verwachtingen van de hersenwetenschappen

Een belangrijke voorwaarde om een positieve bijdrage van de hersenwetenschappen aan de academische wereld en aan de maatschappij op de lange termijn te bewaken, heeft betrekking op het managen van (soms opgeblazen) verwachtingen. Zowel de uitgebreide aandacht voor de uitkomsten van hersenonderzoek in de populaire media en wetenschappelijke tijdschriften als de groeiende financiële ondersteuning van neurowetenschappelijk en cognitief onderzoek wijzen op algeheel optimisme over dit opkomende wetenschappelijke veld. Dit alles leidt tot hoge verwachtingen in het publieke domein, vooral binnen beroepspraktijken zoals het onderwijs, de voedingssector en de

10 Zie www.wikipedia.org.

rechtspraak. Tijdens het STT-project *Brain Visions*, waaraan meer dan vijftig deskundigen uit verschillende beroepsgroepen meededen (zie het onderdeel Projectorganisatie), waren met name de vertegenwoordigers uit de voedingssector¹¹ en het onderwijs bijzonder optimistisch over de waarde van neurowetenschappelijke kennis voor hun werk. Ze hadden, zoals hieronder wordt geïllustreerd, in ieder geval hoge verwachtingen van het potentiële nut van onze groeiende kennis van de hersenen. Overigens waren de betrokken neurowetenschappers zelf vaak terughoudend bij het formuleren van aanbevelingen voor beleid of praktijk op basis van neurowetenschappelijke onderzoek, omdat zij veelal menen dat ons begrip van de hersenen nog maar in de kinderschoenen staat.

Neem bijvoorbeeld het concept van de zogeheten kritische perioden waarin specifieke hersengebieden of -functies tot ontwikkeling zouden komen. Dit concept kent vele aanhangers zowel uit de voedingssector als uit de onderwijspraktijk (zie ook paragraaf 4.1). Tegelijkertijd woedt er nog een levendig wetenschappelijk debat over de vraag of dergelijke perioden ook daadwerkelijk bestaan. Voor de voedingssector zouden dergelijke kritische – of tenminste sensitieve of ontvankelijke – perioden mogelijkheden kunnen bieden voor de ontwikkeling van functionele voedingsproducten met een specifiek effect tijdens een bepaalde periode voor een bepaalde doelgroep. Het belangrijkste adagium voor de werkgroep Voeding, die zich boog over het nut van de neurowetenschappen voor de voedingssector, was niet voor niets ‘de juiste voeding op het juiste moment voor een optimale hersenontwikkeling’. Op vergelijkbare wijze zag de werkgroep Onderwijs mogelijkheden voor het aanpassen van het onderwijsprogramma aan kritische perioden in de ontwikkeling van de hersenen waarin specifieke leervermogens het beste tot ontwikkeling komen. In hoeverre de verwachtingen van de voedingssector en de onderwijspraktijk waar zullen blijken te zijn, is echter nog twijfelachtig. Deze voorbeelden illustreren in ieder geval dat er (ook) hoge verwachtingen zijn voor de neurowetenschappen in niet-wetenschappelijke kringen.¹² Dit betekent niet noodzakelijkerwijs dat de ‘lekendeskundigen’ overmatig optimistisch zijn, omdat zij immers het veld van de neurowetenschappen zelf minder goed kennen; het kan net zo goed zijn dat de neurowetenschappers juist te voorzichtig zijn in hun verwachtingen. De tijd zal het leren.

Sommige deelnemers aan het STT-project stelden evenwel dat veel bestaande nuttige neurowetenschappelijke bevindingen nog onvoldoende worden toegepast door het bedrijfsleven, de overheid, enz. De reden is volgens hen dat veel neurowetenschappers teveel gericht zouden zijn op fundamenteel onderzoek – er is tenslotte nog zoveel te ontdekken – en niet op het vertalen van hun recente onderzoeksresultaten naar de praktijk (zie ook paragraaf 7.4). Terwijl neurowetenschappelijk onderzoek al heeft geleid tot redelijk algemeen aanvaarde ideeën over de werking van de hersenen en wetenschappelijk goed onderbouwde uitkomsten die juist heel goed in de dagelijkse praktijk zouden kunnen worden toegepast. Ouderen zouden bijvoorbeeld zo veel mogelijk geestelijke, maar zeker ook fysieke activiteiten moeten ontplooiën om neurodegeneratie tegen te gaan [Hamer

en Chida, 2008].¹³ Een sterke focus op fundamenteel onderzoek kan volgens sommigen resulteren in een innovatieparadox, waarbij excellent wetenschappelijk onderzoek op de plank blijft liggen en niet leidt tot toegepast onderzoek in de praktijk. Andere deelnemers in het STT-project stelden precies het tegenovergestelde. Volgens hen zijn veel rijke en rijpe uitkomsten van hersenonderzoek niet direct geschikt als beleids- of praktijkaanbevelingen. In sommige gevallen verklaren de neurowetenschappen ‘alleen maar’ gedragsmechanismen die we al kennen. Het concept ‘oefening baart kunst’ wordt bijvoorbeeld bevestigd door basale neurowetenschappelijke studies die aantonen dat bij het verwerven van vaardigheden herhaalde oefening het zenuwstelsel leert op de juiste manier te reageren.¹⁴ De waarheid (over de toepasbaarheid van huidige neurowetenschappelijke uitkomsten) ligt vermoedelijk ergens in het midden.

Terug naar de hoge verwachtingen die bij veel uiteenlopende partijen tot grote belangstelling hebben geleid voor de neurowetenschappen. De retoriek van verwachtingen en beloften verhoogt voor elk wetenschappelijk veld de zichtbaarheid van het onderzoek en de mogelijke toepassingen daarvan. Dergelijke publiciteit is nodig om onderzoeks- en innovatieagenda's op te stellen en meer (doctoraal)studenten en financiering te mobiliseren. Een hype is onvermijdelijk en sommigen menen dat dit al aan de gang is binnen de neurowetenschappen. Niettemin is het moeilijk om in de vroege fasen een hype te onderscheiden van gerechtvaardigde verwachtingen [Van Doorn, 2006].

Of het nu een hype of verwachting betreft, het is duidelijk in het voordeel van de neurowetenschappen dat de academische wereld, het bedrijfsleven, de overheid en andere stakeholders de mogelijke bijdrage van de neurowetenschappen aan hun specifieke domein extrapoleren. Dit fenomeen heeft echter ook een keerzijde. Zoals oversimplificatie, dat leidt tot overhaaste conclusies en het al te snel ontwikkelen van nieuw beleid gebaseerd op hoge publieke verwachtingen.

Oversimplificatie

Zoals hoofdstuk 6 heeft laten zien, is het terrein van de neuro- en de cognitieve wetenschappen uiterst complex: de methodieken, de opzet van de experimenten maar zeker ook de (statistische) interpretatie van de uitkomsten zijn vaak heel verfijnd en ingewikkeld. Dat maakt het verleidelijk om de uitkomsten voor een breder publiek te (over)simplificeren. Zowel de media maar ook (in mindere mate) sommige neurowetenschappers maken wel eens gebruik van oversimplificatie. Dit zou voorkomen moeten worden, omdat, net zoals in andere wetenschapsvelden, onderzoeksresultaten vaak multi-interpretabel zijn wanneer het om de hersenen gaat.

Een belangrijke reden voor de hoge verwachtingen bij het publiek van de neurowetenschappen zijn artikelen over fMRI-studies met kleurrijke en aantrekkelijke afbeeldingen van hersenactiviteit. Dergelijke scans spreken al snel tot de verbeelding van het publiek, maar ook van collegawetenschappers, omdat ze lijken “to imply visual proof of the fundamental nature of reality and subjectivity” [Racine et al., 2006]. fMRI-beelden hebben een aura

11 Het optimisme in de voedingssector wordt mooi geïllustreerd door een vroegere uitspraak van de CEO van Nestlé: ‘We weten nu dat voeding een zeer gunstig effect kan hebben op de volwassen en ouder wordende hersenen.’

12 In het STT-project waren deskundigen van andere wetenschappelijke disciplines zoals voeding en onderwijs echter ook optimistischer dan de neurowetenschappers zelf.

13 Neurodegeneratie is het verlies aan neuronestructuur of -functies. Zie www.wikipedia.org.

14 Dit verklaart ook waarom het zo moeilijk is om een oude gewoonte af te leren. Als je hebt geleerd een noot op de viool op een bepaalde manier te spelen, is het erg moeilijk dit te veranderen; het is een automatisme geworden, dat wil zeggen, het is ‘ingebed’ in de betreffende neurale paden.

van objectiviteit, hoewel ze – anders dan foto's – in feite geen rechtstreekse afbeelding van de werkelijkheid zijn [De Rijcke en Beaulieu, 2004]. Het zijn representaties van een gescand brein die zijn onderworpen aan allerlei statistische berekeningen. Een verkeerde interpretatie van de technische details achter de verschillende beeldvormingstechnieken werkt oversimplificatie van de wetenschappelijke resultaten in de hand. Dit gebeurt vaak in berichtgeving in de media, maar ook bij nieuwe wetenschappelijke subdisciplines die *neuro-imaging* hebben omarmd als nieuwe onderzoeksinstrumenten, zoals in het geval van neuromarketing en neuro-economie.

Oversimplificatie van uitkomsten is een veelbesproken onderwerp onder neurowetenschappers zelf. In november 2008 verscheen er een – volgens sommige neurowetenschappers overgesimplificeerd – artikel in *The New York Times* over een fMRI-studie waarin de cognitieve toestand van twintig nog twijfelende kiezers bij de aanstaande Amerikaanse presidentsverkiezingen was onderzocht. De kritiek was vooral dat het artikel gebruikmaakte van 'reverse inference' (omgekeerde deductie). Dat wil zeggen dat de onderzoekers conclusies trekken (deduceren) over de cognitieve staat van de respondent, in dit geval spanning en gemengde gevoelens bij de kiezer, op basis van de plek in de hersenen waar ze activiteit waarnemen. Dit is in feite een gebruikelijke manier om naar fMRI-data te kijken. Toch stellen sommige neurowetenschappers dat deze manier onjuist is. Spanning kan bij een respondent bijvoorbeeld het hersengebied van de amygdala activeren, maar er zijn ook heel veel andere dingen die de amygdala activeren, zoals pornografie of intense geuren. Het artikel in de krant leidde tot een ingezonden brief van zestien Amerikaanse cognitieve neurowetenschappers die stelden dat "...we are distressed by the publication of research in the press that has not undergone peer review, and that uses flawed reasoning to draw unfounded conclusion about topics as important as the presidential election".¹⁵ Oversimplificatie van fMRI-resultaten moet worden tegengegaan en het veld zelf zou zich moeten focussen op manieren die meer zorgvuldigheid waarborgen bij de interpretatie van fMRI-onderzoek, aldus deze neurowetenschappers [Miller, 2008].

Samengevat is het moeilijk voor wetenschappers om de juiste balans te vinden tussen het maken van beloften en het voorkomen van hypes. Uiteindelijk dienen vooral de media, maar ook neuro- en cognitieve wetenschappers en niet-wetenschappers een zekere voorzichtigheid te betrachten bij het interpreteren van neurowetenschappelijke uitkomsten (om het risico van oversimplificatie te vermijden) en het doen van uitspraken of aanbevelingen op basis van hersenonderzoek (om het risico van overschatting te vermijden). Terreinen als onderwijs, recht of MMI (en in mindere mate voeding) zouden gebaat zijn bij meer gestructureerde aandacht en institutionele structuren om de validiteit van beweringen te verifiëren. Denk bijvoorbeeld aan de Voedsel en Waren Autoriteit (VWA) of de Europese richtlijnen en verordeningen voor de goedkeuring van geneesmiddelen in de gezondheidszorg. Omdat er dus niet altijd mechanismen zijn om de toepassing van niet-gevalideerde uitkomsten (hypes) op minder gereguleerde terreinen van de samenleving te voorkomen, zouden consumenten of burgers hierdoor slachtoffer kunnen worden van toepassingen gebaseerd op onvoldoende valide wetenschappelijke kennis (zie paragraaf 7.5).

¹⁵ Zie www.nytimes.com/2007/11/14/opinion/lweb14brein.html?_r=1&oref=slogin.

7.3 Interdisciplinair onderzoek

Traditioneel bestudeert de psychologie hogere cognitieve functies en gedrag zonder daarbij naar de hersenen te kijken. De psychologie is gewend de geest als een *black box* te zien en vooral te kijken naar hoe input (omgevingsprikkels) resulteert in output (gedrag). Hersenonderzoek daarentegen behoort oorspronkelijk tot het veld van de biologie dat de werking van neuronen onderzoekt zonder te kijken naar het uiteindelijke doel van die neurale activiteit, namelijk gedrag. Gelukkig zijn beide velden, elk met hun eigen onderzoeksstrategieën, in de afgelopen twintig jaar steeds meer gaan samenwerken. Vooral de opkomende discipline van de cognitieve neurowetenschap met haar beeldvormingstechnieken als MRI, magneto-encephalografie (MEG) en *near-infrared* spectografie (NIRS) heeft de interdisciplinaire samenwerking tussen de psychologie en fundamentele neurowetenschap bevorderd. Volgens een recente bibliometrische studie (citaatpercentages in wetenschappelijke tijdschriften) [Merx & Van Koten, 2008] is de cognitieve neurowetenschap inderdaad een groeiend interdisciplinair veld dat tussen de fundamentele neurowetenschap en de cognitieve wetenschap (inclusief psychologie) in ligt. (Overigens wijst dit erop dat de laatstgenoemde velden niet dusdanig zijn geïntegreerd dat er een nieuwe monodiscipline is ontstaan – de cognitieve neurowetenschap – met haar eigen theoretisch kader en verzameling aan kennis.¹⁶) Er zijn echter ook nog andere aanwijzingen die wel duiden op toenemende interdisciplinaire samenwerking tussen de neurowetenschap en de cognitieve wetenschap. Zo heeft ongeveer veertig procent van de leden van de *Society for Neuroscience* (SfN) een achtergrond in de psychologie. En in de afgelopen vijf jaar zijn neurowetenschappers op hun beurt steeds vaker lid geworden van de *US Cognitive Science Society* die traditioneel voornamelijk bestond uit psychologen [Ishii, 2005].

De samenwerking tussen de verschillende disciplines binnen de biologie die zich bezighouden met het bestuderen van de hersenen op verschillende (moleculaire, cellulaire, enz.) niveaus, is ook toegenomen. Net als bij *neuro-imaging* maken nieuwe onderzoeksinstrumenten het gemakkelijker voor de verschillende disciplines om samen te werken. Zo kan tegenwoordig bijvoorbeeld de functie van groepen neuronen gekoppeld worden aan specifieke genen doordat we de neurale activiteit bij levende dieren kunnen registreren en monitoren. Transgene en *gene knockout*-technologie¹⁷ in diermodellen maakt het mogelijk de interactie te bestuderen tussen veel verschillende genen en eiwitten evenals de meest voorkomende (mentale of gedrags-)reacties die ze teweegbrengen. Kortom, interdisciplinaire samenwerking tussen de neuro- en de cognitieve wetenschappen lijkt tegenwoordig gebruikelijker dan tien jaar geleden.

Een volledig interdisciplinair aanpak binnen de neuro- en de cognitieve wetenschappen is voornamelijk niet bereikt en dit zal nog wel even duren. De samenwerking tussen de hersenwetenschappen en andere meer toegepaste wetenschappelijke disciplines zoals onderwijskunde, voedingswetenschappen, mens-machine-interactie en recht, staat nog

¹⁶ Eigenlijk liet hun analyse van de betreffende wetenschappelijke tijdschriften op dit gebied juist een trend zien naar een toenemende specialisatie en fragmentatie in plaats van een algehele integratie van de neuro- en de cognitieve wetenschappen.

¹⁷ Een gene knock-out is een techniek uit de genetica waarbij een organisme – meestal een knaagdier – zo wordt gekweekt dat het een bepaald gen mist of dat het gen niet werkzaam is, met als doel meer te kunnen leren over de functie van dat gen.

helemaal in de kinderschoenen. Het eerdergenoemde bibliometrische rapport van het Rathenau Instituut illustreert dit. Dit rapport bestudeerde namelijk ook de citaatpercentages tussen neurowetenschappelijke tijdschriften, cognitief wetenschappelijke tijdschriften en onderwijskundetijdschriften. Hun bevinding was dat zelfs op het interdisciplinaire terrein van de 'educational neurosciences' interdisciplinaire (en ook transdisciplinaire) samenwerking nog niet echt van de grond is gekomen. Bibliometrische analyses lieten zien dat de onderwijspsychologie alleen gebruik maakt van cognitieve psychologie als kennisbasis, en niet van andere terreinen zoals de fundamentele neurowetenschap, cognitieve neurowetenschap of cognitieve wetenschap. En deze laatste disciplines citeren op hun beurt weer geen artikelen uit vaktijdschriften voor de onderwijspsychologie [Merckx & Van Koten, 2008]. Zelfs in het onlangs gestarte tijdschrift *Mind, Brain and Education* – met de missie "to create a new field... with educators and researchers expertly collaborating in integrating the variety of fields connecting mind, brain, and education in research, theory, and/or practice" – worden referenties gedomineerd door vaktijdschriften in de cognitieve neurowetenschappen, terwijl onderwijsvaktijdschriften hiervan maar een klein deel van uitmaken.

Het bevorderen van interdisciplinair onderzoek

In hoofdstuk 6 werd gesteld dat interdisciplinaire samenwerking een belangrijk aspect is van de hersenwetenschappen, en er zijn al grote stappen gezet naar een volledig geïntegreerd wetenschappelijk veld. Uit de discussies in de stuur- en werkgroepen van het STT-project blijkt echter dat er behoefte is aan meer wetenschappers die zich prettig voelen bij het integreren van het moleculaire en cellulaire niveau (neurobiologie) met het gedragsniveau (psychologie) en die gebruik kunnen maken van theorieën en methoden die zijn ontleend aan de wis-, natuur- en scheikunde. Dit betekent dat er meer studenten nodig zijn die interdisciplinaire wetenschappelijke opleidingen willen volgen. In het algemeen is het niet zozeer een probleem om studenten te vinden die geïnteresseerd zijn in interdisciplinaire studies, maar om te zorgen voor institutionele veranderingen die de beoordeling van interdisciplinaire opleidingen mogelijk maken. De Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen (KNAW) heeft in haar rapport over de organisatiestructuur van de neuro- en de cognitieve wetenschappen in Nederland zelfs voorgesteld een 'bètastatus' te verlenen aan Masteropleidingen in de cognitieve wetenschappen.

Naast aanpassingen van wetenschappelijke opleidingen is het bevorderen van specifieke en noodzakelijke onderzoeksfaciliteiten een andere manier om te komen tot een meer interdisciplinaire samenwerking binnen de neuro- en de cognitieve wetenschappen. Door de KNAW wordt dit als volgt benoemd: "Een interdisciplinaire inspanning om te komen tot de ontwikkeling van een complex en uitgebreid systeem van computernetwerken voor simulatie, analyse en samenwerking, afgestemd op de cognitieve wetenschappen, dat het mogelijk maakt de enorme hoeveelheid voortgebrachte data op een effectieve manier op te slaan en te analyseren." De snelle uitbreiding van het veld van de neurowetenschappen heeft een enorme rijkdom aan data opgeleverd op elk niveau, vanaf het moleculaire niveau tot aan de hersenen als geheel. Al deze gegevens krijgen telkens een hoger niveau van granulering.¹⁸ Om de complexiteit van de hersenen te kunnen begrijpen en de organisatie van de hersenen te modelleren, is een uitgebreid systeem van computernetwerken en bijbehorende software

18 Granulering is een maat voor de omvang van de componenten waaruit het systeem bestaat, in dit geval de hersenen.

nodig die data kunnen managen en uitwisselen (in hoofdstuk 6 is dit beschreven als een van de belangrijkste uitdagingen van de neurowetenschappen). Al in 2005 wezen vijf directeurs van de Amerikaanse *National Institutes of Health* (NIH) op de groeiende noodzaak voor een onderneming vergelijkbaar met het Humaan Genoom Project, met netwerksystemen en databases die "a more rapid and comprehensive pursuit of the brain's physiology" mogelijk maken [Insel et al., 2004].

Als het gaat om het bevorderen van interdisciplinaire samenwerking tussen de hersenwetenschappen en de meer toegepaste wetenschappelijke disciplines, heeft het STT-project *Brain Visions* enkele eerste stappen op dit gebied gezet door de verschillende wetenschappelijke disciplines met elkaar kennis te laten maken. Interessant genoeg stelde de werkgroep Mens-Machine-Interactie dat samenwerking tussen disciplines (in dit geval tussen neurowetenschappers en MMI-experts) het beste gericht kan zijn op één specifieke toepassing, zoals nu feitelijk al gebeurt bij de ontwikkeling van *brain-machine interfaces* (BMI's). Zo'n specifieke toepassing wordt dan de motor voor (nog) meer interdisciplinaire samenwerking en innovatie in de betreffende wetenschappelijke disciplines. Tegelijkertijd zijn dergelijke *driver applications* onmisbaar voor het opstellen van een effectieve onderzoeksagenda. De voorstellen die aan het begin van dit hoofdstuk zijn genoemd, wijzen op enkele veelbelovende *driver applications* – of ten minste op richtingen voor toegepast onderzoek – die voortkomen uit de interactie tussen aan de ene kant wetenschappelijke en technologische krachten en aan de andere kant maatschappelijke krachten (zoals vertegenwoordigd in de transdisciplinaire werkgroepen van STT). Voorbeelden kunnen zijn: gewichtsbeheersende functionele voedingsmiddelen die een snelle verzadiging stimuleren; het conditioneren van voedselvoorkeuren in het eerste jaar; overgewicht en een verhoogd risico op dementie; het evalueren van traditionele interfaces met behulp van *neuro-imaging* en het bereiken van een gevoel van lichaamseigendom in de virtuele realiteit.

7.4 Transdisciplinair onderzoek

Een stap verder dan interdisciplinaire samenwerking is transdisciplinaire samenwerking. Transdisciplinair onderzoek draait om de interactie tussen wetenschappelijke disciplines met maatschappelijke actoren bedoeld om kennisvorming beter te laten aansluiten op maatschappelijk gewenste toepassingen. Het project *Brain Visions*, dat de mogelijkheden van neurowetenschappelijke toepassingen onderzoekt, is daarom opgezet als een transdisciplinair project.¹⁹ Tegelijkertijd is transdisciplinaire samenwerking in de vorm van een dialoog tussen de verschillende stakeholders ook – zij het op kleine schaal – een goede manier om sommige onrealistische verwachtingen van de neurowetenschappen en mythes rondom de werking van het brein te temperen. Transdisciplinariteit zorgt, kortom, voor een betere verankering van neurowetenschappelijke en cognitieve kennis in de maatschappij en voorkomt de eerdergenoemde 'innovatieparadox' waar het Nederlandse innovatieklimaat zo vaak aan lijdt.

19 De werkgroep voor Onderwijs en Voeding en de conferentie 'Justitie en Cognitie' waren transdisciplinair van opzet, terwijl de MMI-werkgroep voornamelijk interdisciplinair was. Zie het onderdeel over Projectopzet aan het eind van deze publicatie.

Uitdagingen bij transdisciplinair onderzoek

Het was vanaf het begin van het STT-project duidelijk dat transdisciplinair onderzoek niet gebruikelijk is in de wereld van de neuro- en cognitiewetenschappen. Dat is niet verwonderlijk, omdat – zoals herhaaldelijk is geconcludeerd – er nog meer dan genoeg fundamenteel onderzoek te doen is op dit gebied. De meeste betrokken wetenschappers richten zich helemaal niet op toegepast onderzoek. Dit zou een reden kunnen zijn dat neurowetenschappers – ten minste binnen het STT-project – zeer voorzichtig zijn met uitspraken over de huidige stand van kennis in hun veld en met verklaringen over de mate waarin neurowetenschappelijke bevindingen kunnen leiden tot toepassingen op allerlei gebieden. Deze behoedzaamheid is mogelijk ook te wijten aan de vaak overdreven optimistische mediaberichten over de toepassingsmogelijkheden van de hersenwetenschap. De Europese intellectuele erfenis van “a certain pessimism about science-based cures to social and political ills” [Ander, 2005] speelt hierbij mogelijk een rol.

Naast het feit dat neurowetenschappers en cognitieve wetenschappers zich voornamelijk op fundamenteel onderzoek richten, zijn er nog meer obstakels te overwinnen op het pad naar meer transdisciplinair onderzoek over de hersenen en cognitie. Denk aan de verschillen in jargon en paradigma's²⁰ (bijvoorbeeld reductionisme in de biowetenschappen tegenover subjectivisme in de sociale wetenschappen en praktijk). De culturele verschillen tussen disciplines kwamen duidelijk naar voren in de discussies van de STT-werkgroepen. Terwijl iemand die werkzaam is in het bedrijfsleven zich richt op mogelijkheden om nieuwe producten te ontwikkelen, richt de wetenschapper zich op zwakheden in het onderzoek naar de effecten van vetzuren op de hersenen en cognitie. Iemand uit de onderwijspraktijk maakt gebruik van het concept motivatie als gerelateerd aan (en zelfs als eerste teken van) intelligentie en ziet driften (honger, dorst, slaap, seks) als de biologische noodzakelijkheden van het leven, terwijl een neuropsycholoog deze driften juist beschouwt als motivationele factoren. Deze culturele verschillen resulteren meestal in problemen die vooral kennistheoretisch van aard zijn. Wanneer zoveel verschillende disciplines en praktijkgebieden samenkomen, ligt een discussie over de vraag wat 'goede' kennis is voor de hand. Zo kunnen bijvoorbeeld ideeën over correct uitgevoerd wetenschappelijk onderzoek per discipline verschillen en meningen over de waarde van leken- of ervaringsdeskundigheid nogal uiteenlopen.²¹

Voorzichtige trends richting transdisciplinair onderzoek

Toch is er sprake van een voorzichtige trend tot transdisciplinair onderzoek, vooral op het terrein van onderwijs (en in minder mate op de terreinen van voeding, MMI en justitie). Zo proberen het al eerder genoemde nieuwe tijdschrift *Mind, Brain and Education* en het onderzoek van de OESO 'Understanding the Brain: the Birth of a Learning Science' actief een transdisciplinaire leerwetenschap te bevorderen. Op nationaal niveau is het *Brain and Learning Centre* van de Universiteit Maastricht bezig met het opzetten van transdisciplinaire onderzoeksinitiatieven, evenals *LEARN!*, een interfacultair onderzoeksinstituut aan de VU in Amsterdam. Deze voorzichtige toenadering tussen de neurowetenschappen, cognitieve

20 Een paradigma is een samenhangend stelsel van modellen en theorieën in de wetenschap die een denkkader vormen waarbinnen de werkelijkheid geanalyseerd en beschreven wordt.

21 Echt transdisciplinair onderzoek gaat ervan uit dat kennis intersubjectief is. Daardoor hecht het evenveel aan ieders bijdrage, al maakt het tegelijkertijd meningen, ideeën en feiten moeilijk uit elkaar te houden.

wetenschappen en de onderwijspraktijk kan deels worden toegeschreven aan de huidige opvatting dat transdisciplinair onderzoek kan helpen om wetenschappelijke resultaten meer in de onderwijspraktijk te incorporeren [Onderwijsraad, 2003], iets wat in Nederland tot nu toe altijd erg gering is geweest. Het eerdergenoemde rapport van het Rathenau Instituut [2008] stelt evenwel dat er internationaal gezien nog geen sprake is van een transdisciplinaire leerwetenschap als nieuwe onderzoeksrichting.

Verder zijn er ook enkele tekenen die wijzen op groeiend transdisciplinair onderzoek binnen de andere toepassingsvelden van het STT-project *Brain Visions*. Een mooi voorbeeld op het terrein van justitie is het *Law and Neuroscience Project* in de Verenigde Staten, dat 10 miljoen dollar heeft gekregen van een particulier fonds, de McArthur Foundation. De missie is “to address the diverse and complex issues that neuroscience raises for our legal system”.²² Om aan deze opdracht te voldoen bestaat het project uit drie transdisciplinaire onderzoeksnetwerken (voor psychiatrische aandoeningen, verslaving en besluitvorming) onder leiding van een neurowetenschapper en een juridisch deskundige. Bovendien beschikt het project over een onderwijsprogramma dat informatie geeft over relevante neurowetenschappelijke bevindingen aan mensen die werkzaam zijn in de rechtspraktijk. Nederland kent slechts een klein aantal kleinschalige transdisciplinaire initiatieven, voornamelijk gericht op het onderzoeken van nieuwe farmaceutische behandelmethoden voor delinquenten in gevangenissen die lijden aan schizofrenie, autisme, verslavingen of andere aandoeningen.²³

Er vindt op dit moment internationaal nogal wat interdisciplinair en transdisciplinair onderzoek plaats op het terrein van BMI's (brein-machine interfaces) waarbij onderzoekers zijn betrokken uit de nanotechnologie, biotechnologie, informatietechnologie, neuro- en cognitieve wetenschap, biomedische technologie en toegepaste wiskunde. Nederland kent ook een groots opgezet onderzoeksproject voor BMI's getiteld *BrainGain*, o.a. gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken via de zogenoemde Smartmix-constructie. Dit project is o.a. transdisciplinair van aard, met drie patiëntenorganisaties (Parkinson, epilepsie en ALS) die als onderzoekspartners betrokken zijn. Hun lekenexpertise wordt gebruikt om specifieke interfaces te verbeteren.

Het bevorderen van transdisciplinair onderzoek

Als we willen dat neuro- en cognitieve wetenschappers “meer verbanden met maatschappelijke problemen opzoeken”²⁴ om zo een plaats in te nemen naast genomics, nanotechnologie en informatietechnologie in het nationale debat over kennis en innovatie, dan is meer transdisciplinair onderzoek in de hersenwetenschappen van groot belang. Er bestaan verschillende manieren om transdisciplinair onderzoek te bevorderen. Verscheidene Nederlandse rapporten hebben aanbevelingen geformuleerd over hoe transdisciplinair onderzoek of transdisciplinaire processen gestimuleerd kunnen worden. Het gaat dan

22 Zie www.lawandneuroscienceproject.org.

23 Zo heeft het Onderzoeks- en Documentatiecentrum van het Ministerie van Justitie (WODC) onlangs een review uitgevoerd naar neurobiologisch onderzoek relevant voor het sanctiebeleid en misdaadpreventie, en de Pompestichting in Nijmegen heeft een studiegroep opgericht die zich richt op de vraag of neurowetenschappelijk onderzoek kan bijdragen aan de behandeling tijdens de detentie.

24 Een citaat uit het voorstel van het *Nationale Brein en Cognitie Initiatief*. Zie www.nwo.nl/nwohome.nsf/pages/NWOA_6MXKKBK.

bijvoorbeeld om aanpassingen aan beoordelingssystemen, disciplinaire structuren, loopbaanbegeleiding voor wetenschappers en nieuwe financieringsstructuren [AWT, 2003; Klein 2001]. Het valt buiten de reikwijdte van deze publicatie om deze aanbevelingen gedetailleerd te bespreken. Niettemin worden enkele ideeën van de deelnemers aan het STT-project *Brain Visions* kort toegelicht.

Stimuleer 'academische praktijken' zoals in academische ziekenhuizen en academische scholen

Academische ziekenhuizen en scholen zijn actief betrokken bij opleiding en onderzoek waarbij gebruikersgroepen zoals patiënten, studenten/docenten, enz. zijn betrokken. Zij werken nauw samen met universiteiten, bieden mogelijkheden voor innovatie en geven een goed voorbeeld voor andere praktijken [RGO, 2000]. Academische praktijken kunnen ook van belang zijn als kleinschalige initiatieven waarin wetenschappers en niet-wetenschappers samenwerken aan toegepast neurowetenschappelijk en cognitief wetenschappelijk onderzoek. Denk bijvoorbeeld aan academische basis- of middelbare scholen gericht op hersenen, cognitie en leren. Of academische rechtbanken, advocatenkantoren of politiediensten die samenwerken met universitaire faculteiten. Het is van belang dat dergelijke academische praktijken van onderop georganiseerd worden door wetenschappelijke en niet-wetenschappelijke stakeholders zelf, om langdurige, goed ingebedde praktijken te worden.

Meer programma's voor rechtstreekse financiering van kleinschalige transdisciplinair onderzoek door nationale of lokale overheid

Het Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap heeft onlangs een financieringsprogramma voor *evidence based*-onderwijs geïntroduceerd, getiteld Onderwijs Bewijs, dat 25 miljoen euro beschikbaar stelt over een periode van vier jaar. Opleidings- en onderzoeksinstellingen kunnen samen financiering aanvragen.²⁵ De missie van het programma is om te begrijpen wat wel en wat niet werkt in de onderwijspraktijk door middel van praktijkexperimenten (van cognitieve, neurowetenschappelijke of anderszins wetenschappelijke aard).

Zorg voor armslag voor transdisciplinair onderzoek binnen grootschalige nationale projecten.

Voorbeelden van grootschalige nationale projecten zijn het huidige Nationale Brein en Cognitie Initiatief en BrainGain voor brein-machine interfaces. Het zou goed zijn als bij dergelijke grootschalige projecten tussen de 3 en 5% van het jaarlijkse budget wordt vrijgemaakt voor expliciet transdisciplinaire projecten, net zoals het Humane Genoom Project 5% financiering vrijmaakte voor onderzoek naar de ethische, juridische en sociale aspecten van de toenemende beschikbaarheid van genetische informatie (zie paragraaf 7.5).

25 www.minocw.nl/onderwijsbewijs.

Een transdisciplinaire onderzoeksagenda

Gedurende het STT-project *Brain Visions* waren er enkele overkoepelende onderzoeksthema's die in meer dan één toepassingsgebied naar voren kwamen. Voorbeelden van vraagstukken die de voedingssector, de wereld van *interface design*, het onderwijs en de rechtspraak gemeen hebben en daarom veelbelovende thema's zijn voor verder transdisciplinair onderzoek.

Kritische perioden in hersenontwikkeling als windows of opportunities. Zoals eerder genoemd (zie paragraaf 7.2), waren zowel de werkgroepen Voeding als Onderwijs erg geïnteresseerd in mogelijkheden om voedingsproducten en leertrajecten aan te passen aan perioden waarin specifieke hersenfuncties (bijvoorbeeld taal of zicht) en cognitieve functies (bijvoorbeeld besluitvorming, planning) zich ontwikkelen. De algemene aanname is dat functionele voeding en onderwijs op deze manier een optimale invloed kunnen hebben op de hersenen. Er is nog geen wetenschappelijk bewijs dat deze kritische perioden bestaan, met name voor wat betreft cognitieve functies (er is wel enig bewijs voor kritische perioden voor de ontwikkeling van specifieke hersengebieden, zoals de visuele cortex, de gehoorschors en de prefrontale cortex). In zowel het onderwijs als de voedingssector is het gemeenschappelijke doel om gebruik te maken van dergelijke kritische perioden zodat de hersenen en cognitieve functies in een vroeg ontwikkelingsstadium beïnvloed kunnen worden (bijvoorbeeld bij kinderen en peuters).

Motivatie en hoe dit in de hersenen georganiseerd is. Neurowetenschappelijk onderzoek laat zien dat emotionele prikkels cognitieve prestaties beïnvloeden. Sommigen stellen zelfs dat "*will and wanting is not an extra to the brain; it is at the core of its functioning*" [Nørretranders, 2007]. Maar wat betekenen deze recente bevindingen voor de verschillende toepassingsgebieden? Stakeholders uit de voedingssector en de rijksoverheid zijn geïnteresseerd in motivationele aspecten van eetgewoonten; sommige hiervan zijn verwant aan voedselverslaving en kunnen leiden tot overgewicht of zelfs zwaarlijvigheid. Daarnaast zijn ze ook geïnteresseerd in het conditioneren van voedselvoorkeuren bij jonge kinderen: hoe kunnen we ze in een vroeg stadium leren gezond voedsel zoals fruit en groente te waarderen? Mensen uit de onderwijspraktijk zijn geïnteresseerd in de onderliggende motivatieprocessen bij het leren in relatie tot leeftijd en onderwijsinterventies; ze willen de relatie begrijpen tussen motivatie en betrokkenheid, verveling of eigenwaarde/onzekerheid; ze willen weten wat ze kunnen verwachten van zelfsturend versus leraar-afhankelijk leren en vooral waarom kinderen in het algemeen zo gemotiveerd zijn om computerspelletjes te spelen. Ten slotte blijken de MMI-wetenschappers en -ontwikkelaars vooral geïnteresseerd in het evalueren van interfaces en systemen, door te kijken in hoeverre de hersengebieden die betrokken zijn bij motivatie actief zijn bij het gebruik van die interface. Een belangrijk doel hierbij is de ontwikkeling van *persuasive technology* (technologie die helpt het gedrag van de gebruiker te veranderen, zoals bij gewichtsbeheersing) en systemen die gebruikers engageren zonder het gevoel te hebben dat ze alle controle verliezen.

Multimodale sensorische integratie. Mensen gebruiken meer dan alleen maar woorden om hun boodschap over te brengen en ze zoeken altijd naar aanwijzingen om

andere mensen of dingen te begrijpen: handgebaren, de blik in iemands ogen, de geur en textuur van voedsel, etc. We maken gebruik van verschillende zintuigen om andere mensen en de wereld om ons heen te interpreteren. Een beter begrip van multisensorische verwerking of hoe verschillende inputsignalen resulteren tot één coherente, complexe interpretatie in de hersenen (het zogenoemde 'bindingsprobleem') zou nuttig kunnen zijn voor veel toepassingsgebieden. De verschillende werkgroepen wierpen de volgende vragen op: hoe worden verschillende sensorische modaliteiten als zien, horen, proeven, ruiken en voelen geïntegreerd in de hersenen tot één uiteindelijke waarneming? Hoe beïnvloeden al deze stukjes sensorische informatie elkaar en hoe beïnvloeden ze de uiteindelijke waarneming? Hoe vergelijken de hersenen de verschillende sensorische prikkels ten opzichte van elkaar? In welke situaties (bijvoorbeeld bij stress) kunnen welke sensorische modaliteiten het beste worden aangesproken voor een goede communicatie? Is het altijd beter om meer dan één sensorische modaliteit aan te spreken om informatie over te brengen? Welke modaliteiten 'binden' beter dan andere? Op het gebied van interfaceontwerp kunnen inzichten in de menselijke multimodale communicatie nuttig zijn bij het ontwikkelen van multimodale interfaces die verdergaan dan het gebruik van een toetsenbord of muis [Ander, 2005] of die de gebruiker helemaal onderdompelen in de virtuele omgeving. Op het gebied van het onderwijs gaat het om de vraag hoe onderwijsmateriaal moet worden gepresenteerd om leerlingen optimaal te kunnen laten leren: welke sensorische modaliteiten moeten worden aangesproken voor de beste resultaten? Zijn er verschillen in 'sensorische voorkeuren' (bijvoorbeeld visuele, auditieve of tactiele strategieën) van individuele leerlingen, en wat is de beste manier om hiermee om te gaan? Op het gebied van voeding is de belangstelling in sensorische integratie van de voedingssector vooral gebaseerd op hun doel om de perceptie en de waardering van voeding te beïnvloeden. Dat kan bijvoorbeeld door een sensorische prikkel (zout of vet) door een andere, potentieel minder schadelijke prikkel te vervangen, of meer ervaringsrijke en smaakversterkende producten te ontwikkelen. Interessant genoeg is een van de doelstellingen bij het begrijpen van sensorische integratie dezelfde voor alle drie de domeinen, namelijk het *intensiveren* van de ervaring van virtuele realiteit (MMI), de *intensivering* van het leerproces (onderwijs) en het *intensiveren* van de ervaring van eten (voeding).

Het effect van ICT-gebruik op de ontwikkeling van de hersenen en de cognitieve functies.

Een ander thema waarin beide werkgroepen MMI en Onderwijs geïnteresseerd zijn, is de invloed van onze technologische omgeving, zoals de gamingcultuur, op de ontwikkeling van de hersenen en de cognitieve functies. We weten nu dat de hersenen veel plastischer zijn dan voorheen werd aangenomen, maar dit impliceert ook dat zij veel flexibeler en kwetsbaarder zijn dan we dachten.²⁶ Sommige deskundigen noemen het gebruik van informatie- en communicatietechnologie en het mogelijke effect hiervan op de hersenen een belangrijk onderwerp voor toekomstig onderzoek. Dergelijk onderzoek zou zich moeten richten op de potentieel schadelijke gevolgen van gamen of internetten op de hersenen, maar dient ook te onderzoeken in hoeverre

26 Dit laatste punt wordt geïllustreerd door de huidige zorgen onder het publiek over de zeer schadelijke effecten van alcohol op de hersenen van adolescenten, waar eerder veel minder aandacht en kennis over was.

de huidige ICT-generatie – door de OESO 'new millennium learners' genoemd – een 'ander brein' en nieuwe cognitieve vaardigheden heeft ontwikkeld. Het zijn vooral de volgende cognitieve kenmerken die nieuw zouden zijn bij de ICT-generatie: een korte aandachtsspanne, behoefte aan een snelle respons en vaardig in het multitasken. Mensen uit de onderwijspraktijk zijn overigens vaak sceptisch over de constatering dat deze generatie echt andere competenties en vaardigheden heeft ten opzichte van oudere generaties en over de vraag of curricula op basis daarvan aangepast moeten worden. Bij interface design is een belangrijke vraag hoe de hersenen – met name hun probleemoplossend vermogen – zich aanpassen aan al die uiteenlopende technologische informatie- en communicatieapparatuur. Op basis van die kennis is het mogelijk om vast te stellen of de hersenen van een gebruiker – ongeacht of het de digitale generatie betreft – zich moeiteloos aan traditionele of nieuwe interfaces aanpassen.

7.5 Ethische, maatschappelijke en juridische agenda

De eerste twee paragrafen over veranderingen in de manier waarop we onze hersenen, onszelf en anderen begrijpen (zie paragraaf 7.1) en het risico van een hype (zie paragraaf 7.2), verwezen al naar twee redenen om tot een onderzoeksagenda voor ethische, maatschappelijke en juridische vraagstukken te komen parallel aan de onderzoeksagenda in de neurowetenschappen en cognitieve wetenschappen. Zo'n agenda, inclusief burgerconsultatie en een maatschappelijk debat, kan helpen het huidige vertrouwen van het publiek en de steun ervan voor de hersenwetenschappen vast te houden en te vergroten. Een aversie of zelfs weerstand van het publiek kan het floreren van de hersenwetenschappen in de komende decennia beperken (zoals gebeurde bij *tissue-engineering*²⁷, nadat het experiment met de muis met een menselijk oor op zijn rug in het nieuws was gekomen). Het zal ongetwijfeld gebeuren dat de neuro- en cognitieve wetenschappen ons confronteren met nieuwe morele dilemma's die zelfs kunnen vragen om beleidsmaatregelen of aanpassingen in de wet. Naarmate de neuro- en cognitieve wetenschappen steeds meer ons leven binnendringen, zullen de ethische vraagstukken belangrijker worden. Een maatschappelijk debat over ethische, maatschappelijke en juridische vraagstukken dient op tijd te worden opgestart. Daarom is het belangrijk om een onderzoeksagenda met dergelijke vragen op te stellen. Net zoals het Humaan Genoom Project (HUGO) een ELSI-agenda (*ethical, legal and social issues*) had, waarin vraagstukken aan de orde kwamen als problemen rond intellectueel eigendom vanwege toegang tot en het gebruik van genetische informatie, het gebruik van genetische informatie en technologieën in een andere context dan een gezondheidscontext (zoals personeelszaken, verzekeringen, strafrecht, enz.), en de gevolgen van genomics-onderzoek op concepten zoals ras, etniciteit, verwantschap en individuele en groepsidentiteit.²⁸

27 Tissues-engineering is een vorm van bio-engineering waarbij gedeeltes van of hele stukken weefsel of organen (bot, bloedvaten, blaas, huid, etc.) worden vervangen of gerepareerd door in het lab gekweekt(e) weefsel of organen.

28 Zie www.genome.gov/10001618. Er is veel debat geweest over de betekenis van de ELSI-agenda voor de ontwikkeling van het HUGO-project.

Tot op heden blijft het onderzoek naar de ethische, maatschappelijke, juridische, maar ook economische implicaties van de neuro- en cognitieve wetenschappen nog achter. Er is nog weinig formele aandacht (zoals bijvoorbeeld een Europese ELSI-agenda of financiering vanuit Europese fondsen als FP7) geschonken aan de implicaties van deze zich snel ontwikkelende takken van wetenschap. Tegelijkertijd ontwikkelt het veld van de neuro-ethiek zich snel. Er bestaat al een aanzienlijke hoeveelheid wetenschappelijke literatuur op dit gebied, inclusief gespecialiseerde wetenschappelijke tijdschriften zoals *AJOB*²⁹/*Neuroscience and Neuroethics*. Daarnaast is recentelijk de *Neuroethics Society*³⁰ opgericht in de Verenigde Staten en is in Europa het *European Neuroscience and Society Network (ENSN)*³¹ opgezet, o.a. gefinancierd door de *European Science Foundation (ESF)*.

Neuro-ethiek

Neuro-ethiek richt zich hoofdzakelijk op de ethiek van de neurowetenschap en in mindere mate op de neurowetenschap van de ethiek. Het eerste onderzoeksthema heeft betrekking op de ethische beoordeling van toepassingen of technologieën die voortkomen uit de neuro-wetenschappen en cognitieve wetenschappen. Het gaat om vraagstukken die corresponderen met die in de traditionele bio-ethiek, bijvoorbeeld medicalisering, behandeling ten opzichte van verbetering (*enhancement*), maatschappelijke rechtvaardigheid en privacyvraagstukken. Het tweede thema – dat ook bestudeerd wordt door de sociale neurowetenschap – heeft betrekking op het neurowetenschappelijke onderzoek naar de oorsprong van (traditionele ethische en filosofische) vraagstukken zoals het bestaan van de vrije wil, menselijke rationaliteit en de aard van moraliteit of spiritualiteit. Hersenonderzoek leidt tot steeds meer informatie over de neurobiologische basis van wat ons mens maakt; deze uitkomsten zijn uniek en kennen geen precedent in enige andere wetenschap [Levy, 2008; Farah, 2005].

Ondanks de groeiende wetenschappelijke belangstelling voor de ethiek van de neuro-wetenschap betreft dit een tot nu toe grotendeels speculatief terrein, "*fruitlessly piling speculation on top of conjecture*" volgens Hank Greely [2007], een juridisch en ethisch deskundige op het gebied van de hersenwetenschappen van de Stanford University. Een van de meest vooraanstaande Europese sociaal-wetenschappers op gebied van de neurowetenschappen, Nikolas Rose, stelde in zijn voordracht bij de eerste conferentie van de ENSN dat maar weinig sociaal-wetenschappelijk onderzoek naar de implicaties van onze groeiende kennis van de hersenen is "*grounded in sound empirical knowledge of what is actually happening in those fields and what are the actual implications when they move from the laboratory to the field. Neuroethics and social neuroscience have been largely speculative... as to the possible implications of the neuroscientific advances on human behaviour and 'human nature'. Hence the need to try to transform those hypothetical implications into a more substantive and informed debate*" [Rached, 2007]. Dezelfde ENSN-conferentie kwam ook tot de conclusie dat er tot dusverre erg weinig ethisch onderzoek is geweest waarbij vertegenwoordigers uit het bedrijfsleven waren betrokken om de omgang van de *neurotech* industrie met neuro-ethische vraagstukken te analyseren.

29 *AJOB* staat voor *American Journal of Bioethics*.

30 Zie www.neuroethicssociety.org. Hun doel is "*to promote the development and responsible application of neuroscience through better understanding of its capabilities and its consequences*".

31 Zie www.neurosocieties.eu. De ENSN doet dienst als "*a multidisciplinary forum for timely engagement with the social, political and economic implications of developments in the neurosciences*".

Relevante ethische vraagstukken

Een andere tekortkoming van het huidige sociaal-wetenschappelijk en ethische onderzoek is dat het zich voornamelijk heeft gericht op de implicaties van de hersenwetenschappen voor de gezondheidszorg, inclusief medische BMI's, en tot op zekere hoogte voor de rechtspraak (met vraagstukken als leugendetectie en het vermeende ontbreken van de vrije wil). Andere toepassingsgebieden zijn tot nu toe grotendeels over het hoofd gezien door sociologen en filosofen. Dit is niet helemaal vreemd omdat het meeste toegepaste neurowetenschappelijk onderzoek op medische toepassingen is gericht. Een zogenoemde ELSI-agenda zou echter zeker ook van belang zijn voor de andere terreinen die in dit boek aan de orde komen: voeding, onderwijs en interface design. Hier worden drie relevante ethische vraagstukken genoemd op basis van de resultaten van het STT-project *Brain Visions*.

Cognitieve verbetering (of enhancement)

Bij cognitieve verbetering gaat het om de 'beter dan normale' verbetering van stemming, cognitie of gedrag; een veelgenoemd voorbeeld van mensverbetering in het algemeen is het niet-medisch gebruik van Viagra. Bij het onderwijs gaat het om gezonde leerlingen en studenten die noötropische middelen (of 'smart drugs') gebruiken of willen gebruiken om hun aandachtsspanne en geheugen te verbeteren. Deze farmacologische middelen zijn voornamelijk bedoeld om cognitieve problemen te bestrijden zoals ADHD of neurodegeneratieve stoornissen zoals Alzheimer. Het blijkt dat veel kinderen in de Verenigde Staten de verbeterende werking van Ritalin en Adderol al hebben ontdekt [Farah, 2002]. Cognitieve verbeteringen kunnen ook worden bereikt door BMI's, die mogelijk in de toekomst gezonde mensen in staat zullen stellen hun capaciteiten op het gebied van informatiebeheer te verbeteren. DARPA houdt zich bijvoorbeeld momenteel bezig met belangrijk onderzoek op het gebied van '*augmented cognition*' met als doel de cognitieve vermogens van soldaten in het veld te verbeteren. Of zoals Honeywell Aerospace Industries, dat werkt onder gezag van DARPA, op haar website stelt: "*AugCog technology [which uses EEG technology – red.] identifies soldiers facing information overload and prompts real-time tactical changes by allowing commanders to redirect that information and any required action to other soldiers.*" Het is twijfelachtig of *brain food*-producten inderdaad enig meetbaar verbeterend effect zullen hebben; voedingsproducten – evenals medicatie trouwens – die onze eetlust remmen, liggen eerder binnen handbereik.³² Ethische vraagstukken omtrent cognitieve verbeteringen zijn talrijk: mogelijke bijwerkingen op de lange termijn, oneerlijke verdeling van of toegang tot verbeterende middelen en het morele bezwaar van 'winst zonder er moeite voor te doen'. Bovendien is er nog het idee dat het grootschalige gebruik van cognitieve verbeteraars onze standaard ten opzichte van wat normaal is, zal verhogen, waardoor mensen die ervoor kiezen geen verbeterende technologie toe te passen, op achterstand worden gezet [Farah, 2002]. Aan deze vraagstukken ligt een zekere ongemakkelijkheid ten grondslag die de meeste mensen hebben met het manipuleren van hersenfuncties: het voelt verkeerd en zelfs gevaarlijk aan.

32 Een interessant ethische vraagstuk is dat van de autonomie: elke interventie zoals een pil of een elektrode in het brein die iemand die lijdt aan obesitas bevrijdt van dysfunctionele hongergevoelens, versterkt in plaats van ondermijnt zijn of haar autonomie.

Medicalisering

Dit is een term uit de sociologie die staat voor de toenemende medische bemoeienis met 'natuurlijke' gebeurtenissen op het gebied van het leven, zoals geboorte, ouder worden en sterven. Een bredere definitie is het oplossen van maatschappelijke problemen door medisch ingrijpen. Medicalisering doet zich voor zowel in het onderwijs als op het gebied van voeding. Binnen het concept *personalised learning* heeft medicalisering betrekking op de mogelijkheid om beeldvormingstechnieken in te zetten in de onderwijspraktijk om het (neuro)cognitieve profiel van leerlingen te monitoren. Dit monitoren kan echter gemakkelijk leiden tot een indeling in 'normale' en 'afwijkende' cognitieve profielen en mogelijk tot een medische diagnose en zelfs behandeling van bepaalde leerlingen. Op het gebied van voeding spreken we van medicalisering wanneer het gaat om functionele voedingsmiddelen die de hersenontwikkeling stimuleert of neurodegeneratie tegengaat. In dit geval is er wat productontwikkeling betreft nog maar een geringe scheiding tussen medicijnen en voedingsproducten, wat leidt tot de medicalisering van voeding.

Zorgen omtrent privacy

Een ander belangrijk neuro-ethisch vraagstuk is dat van de privacy of vertrouwelijkheid. Zoals bij elke technologie die gevoelige informatie over een persoon aan het licht brengt (bijvoorbeeld prenataal onderzoek of genetisch onderzoek voor borstkanker), is het niet altijd in iemands belang dat die informatie aan anderen beschikbaar wordt gesteld, bijvoorbeeld verzekeraars of toekomstige werkgevers. Hersenscans zeggen niet zoveel over ons gedrag als sommige mensen wel denken. *Neuro-imaging* is nog maar sporadisch inzetbaar als diagnostisch instrument. Veel onderzoeksgroepen werken hier echter momenteel aan en er zijn enkele bemoedigende resultaten met bijvoorbeeld schizofrenie en ADHD. Het is daarom niet te vroeg om stil te staan bij wie er recht heeft op toegang tot iemands *neuro-imaging* resultaten en voor welk doel. Deze kwestie zal in de toekomst alleen maar urgenter worden wanneer hersenscantechnieken hun intrede doen op niet-medische gebieden zoals de rechtspraak, het onderwijs en loopbaanplanning. In de Verenigde Staten gaan er al stemmen op – waaronder die van de maatschappelijke organisatie *Center for Cognitive Liberty and Ethics* (CCLE) – voor een nieuw juridisch concept: 'cognitieve vrijheid'. In Nederland zijn de hersenen juridisch gezien nog steeds een privaat domein, in tegenstelling tot vingerafdrukken, bloed en weefsel, waarvan men juridisch kan worden gedwongen om die af te staan (voor o.a. DNA-tests). Andere interessante ethische vraagstukken die met privacy te maken hebben, zijn: waar worden hersenscan-data opgeslagen? Wie heeft toegang tot die data? Kunnen deze worden gekoppeld aan andere persoonlijke kenmerken zoals leeftijd, geslacht, beroep, enz.? Belangrijke vragen, want dergelijke informatie heeft een potentiële commerciële waarde.

De zoektocht naar de biologische basis van wie wij zijn, heeft altijd al aanleiding gegeven tot ethische vragen en verschuivingen in de publieke opinie. Dit zal niet anders zijn voor de neuro- en cognitieve wetenschappen. In het geval van de ethiek van de neurowetenschap kunnen de traditionele bio-ethische vraagstukken zelfs nog urgenter zijn, omdat – zoals al eerder gesteld – de neurobiologische basis van de menselijke natuur allesomvattender lijkt te zijn dan bijvoorbeeld de genetische basis van de menselijke natuur. Een ELSI-agenda moet daarom ook ruimte laten voor ethische vraagstukken rondom de neurowetenschap die gaan over de kern van wat ons tot mens maakt (rationaliteit, vrije wil, moraliteit, enz.).

De noodzaak van een ELSI-agenda

Een ELSI-agenda is een gezamenlijke inspanning van wetenschappers, bedrijven en publieke instanties op zowel nationaal als internationaal niveau. Een belangrijke rol is weggelegd voor de neurowetenschappen en cognitieve wetenschappen zelf. Dit is geen vanzelfsprekende zaak, omdat veel wetenschappers zich meestal niet bezighouden met de ethische consequenties van hun bevindingen of de risico's van hun (toegepast) onderzoek bagatelliseren. Maar uiteindelijk zouden het publieke debat en het onderzoek van sociaal wetenschappers en ethici naar de maatschappelijke gevolgen van de neurowetenschappen in hun voordeel kunnen zijn. Dat zou kunnen leiden tot een beter begrip van het publiek en snellere acceptatie van nieuwe toepassingen. Eén manier waarop de wetenschap zelf ELSI-onderzoek kan bevorderen, is door een bepaald percentage van grootschalige onderzoeksbudgetten te bestemmen voor dit onderzoek (de 3-5% die is gereserveerd voor het Humaan Genoom Project is een goed voorbeeld). Een andere mogelijkheid is het oprichten van een centrum voor Maatschappij en Hersenonderzoek, vergelijkbaar met het Nederlandse *Centre for Society and Genomics* (CSG). Dit centrum is verankerd in het wetenschappelijk netwerk van het *Netherlands Genomics Initiative* (NGI). De missie van het CSG is: "*Understanding and improving the interaction between society and genomics... through interdisciplinary research as well as innovative communication and education activities.*"³³ Hoewel het bedrijfsleven in het algemeen is gericht op commerciële belangen op de korte termijn, dient het ook zijn verantwoordelijkheid te nemen door het opzetten van of deelnemen aan ethisch onderzoek naar specifieke neurotechnologische of neurowetenschappelijke toepassingen. Het zou zelfs de voorkeur verdienen als het bedrijfsleven werkt aan ethische, juridische en maatschappelijke vraagstukken in relatie tot de ontwikkeling van specifieke toepassingen. Dat zou mogelijk speculatie voorkomen en praktisch uitvoerbare beleidsmaatregelen stimuleren. Tegelijkertijd kunnen bedrijven consumentenonderzoek doen om de wensen en angsten van consumenten te achterhalen en deze resultaten te gebruiken om te bepalen welk soort R&D dient te worden bevorderd, of juist niet. Organisaties die publiek gefinancierd worden, zoals de Hersenstichting, het Voedingscentrum of het Rathenau Instituut³⁴, zijn relevante stakeholders die kunnen fungeren als motor voor het opstellen van een ELSI-agenda. Afzonderlijke landen en de Europese Commissie kunnen zorgen voor financiële ondersteuning. Publieke organisaties spelen een belangrijke rol door meer en op een juiste manier bekendheid te geven aan neurowetenschappelijke bevindingen onder het grote publiek en door het bevorderen van een maatschappelijk debat over de verschillende neuro-ethische vraagstukken.

33 Zie www.society-genomics.nl.

34 Het Rathenau Instituut heeft als missie "aandacht te vragen voor de invloed van wetenschap en technologie op ons dagelijks leven en dit in kaart te brengen middels onafhankelijk onderzoek en debat".

Literatuur

- Alper M (2001). *The 'God' Part of the Brain. A Scientific Interpretation of Human Spirituality and God*. Rogue Press, New York.
- Andler D (2005). *Cognitive Science*. European Commission/Directorate-General for Research, Brussels.
- Austin, J (2006). *Zen Brain-Reflections*. MIT Press, Boston.
- AWT (2003). *De bevordering van multidisciplinair onderzoek*. Adviesraad voor het Wetenschaps- en Technologiebeleid, The Hague.
- Burmann DD, B Tali, JR Booth (2008). Sex Differences in Neural Processing of Language among Children. *Neuropsychologia*, Jan. 4.
- Doorn M (ed.) (2006). *Converging Technologies*. STT, The Hague.
- Farah M (2005). Neuroethics: the Practical and the Philosophical. *Trends in Cogn. Sci.*, 9 (1), Jan., pp. 34-40.
- Farah M (2002). Emerging Ethical Issues in Neuroscience. *Nature Neurosci*, vol. 5 (11), pp. 1123-1129.
- Farrow T (2007). Brain Scans Pinpoint How Chocoholics Are Hooked. *The Guardian*, Aug. 28.
- Gazzaniga MS (2005). *The Ethical Brain*. Dana Press, New York/Washington.
- Greely H (2007). Knowing Sin: Making Sure Good Science Doesn't Go Bad. In: CA Read (ed.), *Cerebrum 2007. Emerging Ideas in Brain Science*, DANA, New York/Washington.
- Hamer M, Y Chida (2008). Physical Activity and Risk of Neurodegenerative Disease: a Systemic Review of Prospective Evidence. *Psychol Med*, June 23, pp. 1-9.
- Haynes JD, K Sakai, G Rees, S Gilbert, C Frith, RE Passingham (2004). Reading Hidden Intentions in the Human Brain. *Curr. Biol.*, 17, Feb. 20, pp. 323-328.
- Insel TR, ND Volkow, SC Landis, TK Li, JF Battey, P Sieving (2004). Limits to Growth: Why Neuroscience Needs Large-Scale Science. *Nature Neurosci*, vol. 7 (5), pp. 426-427.
- Ishii K (2005). Cognitive Science as Science of the Mind. *Science and Technology Trends Quarterly Rev.*, vol. 14, Jan.
- Just MA, TA Keller, JA Cynkar (2008). A Decrease in Brain Activation Associated with Driving when Listening to Someone Speak. *Brain Research*, 1205, pp. 70-80.
- Klein JT, W Grossenbacher-Mansuy (2001). *Transdisciplinarity: Joint Problem Solving among Science, Technology, and Society. An Effective Way for Managing Complexities*. Birkhauser, Basel.
- Levy N (2008). Introducing Neuroethics. *Neuroethics*, vol. 1 (1), pp. 1-8.
- Mauron A (2003). Renovating the House of Being. Genomes, Souls and Selves. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, vol. 1001, Oct., pp. 240-252.
- Merckx F, R van Koten (in press). *The Development of Transdisciplinary Learning Science. Where Do We Stand?* Rathenau Institute, The Hague.
- Miller G (2008). Growing Pains for fMRI. *Science*, vol. 320, June, pp. 1412-1414.
- Moreno JD (2005). *Mind Wars. Brain Research and National Defense*. Dana Press, New York/Washington.
- Nørretranders T (2007). *What Are All these Neurons Up to? Crossing Borders into a Science of Mind*. Reflections on the Institute Para Limes Workshop on Conceptual Neuroscience. April 16 -18. See www.paralimes.org.
- Pfaff DW (2007). *The Neuroscience of Fair Play. Why We (Usually) Follow the Golden Rule*. Dana Press, New York/Washington.
- Pfeifer JH, M Iacobini, JC Mazziotta, M Dapretto (2008). Mirroring Other's Emotions Relates to Empathy and Interpersonal Competence in Children. *NeuroImage*, vol. 39 (4), Feb. 15, pp. 2076-2085.
- Rached JA (2007). *Report of the ENSN Conference "Neurosocieties: the Rise and Impact of the New Brain Sciences"*. See www.neurosocieties.eu/launch_conference/ENSN_Launch_November_2007_Workshop_Report.pdf.
- Racine E, O Bar-Ilan, J Illes (2006). Brain Imaging. A Decade of Coverage in the Print Media. *Science Communication*, vol. 28 (1), Sept., pp. 122-143.
- Rijke S de, A Beaulieu (2005). Platen vullen geen gaten: Waarom wetenschappelijke afbeeldingen niet vanzelf spreken. *Academische Boekengids*, vol. 47, Nov., pp. 13-15
- RGO (2000). *Werkplaatsfunctie buiten het academische ziekenhuis*. RGO, The Hague
- Vrecco S (2006). Folk Neurology and the Remaking of Identity. *Molecular Interventions*, vol. 6 (6), pp. 300-303.
- Weisberg DS, FC Keil, J Goodstein, E Rawson, J Gray (2008). The Seductive Allure of Neuroscience Explanations. *Journal of Cogn. Neurosci.*, 20 (3), pp. 470-477.
- Whitmer RA, EP Gunderson, E Barret-Connor, CP Quesenberry, K Yaffe (2005). Obesity in Middle-Age and Future Risk of Dementia: a 27 Year Longitudinal Population Based Study. *Brit. Med. Journal*, June 11, 330 (7504), pp. 1360.

Projectorganisatie

De STT-toekomstverkenning Brain Visions is gebaseerd op de STT-methode van kennisfusie. Deze methode heeft als doel om kennis te delen door experts van verschillende achtergronden in werkgroepen bijeen te brengen. Deze werkgroepen bestaan uit onderzoekers en technologieontwikkelaars uit onderzoeksinstituten en industrie, beleidsmakers en andere eindgebruikers met als doel om het aanbod van kennis beter op de vraag naar kennis en toepassingen te laten aansluiten. Door experts met verschillende achtergronden bij elkaar te brengen, faciliteert STT de vorming van transdisciplinaire netwerken en transdisciplinair denken. Beide zijn belangrijk om de kennisproductie richting wenselijke en maatschappelijk robuuste toepassingen te sturen. Wetenschappers zijn zich niet altijd bewust van wat zij te bieden hebben aan eindgebruikers in de industrie of publieke organisaties. En eindgebruikers zijn niet altijd op de hoogte van de laatste stand van wetenschappelijke kennis. In de STT-werkgroepen delen verschillende experts in vijf bijeenkomsten hun kennis en denken creatief en constructief na over toekomstige maatschappelijk relevante toepassingen. Een STT-project wordt geleid door een stuurgroep die – samen met de projectleider – beslist over het ontwerp en de uitvoering van het project inclusief de publicaties.

In het STT-project Brain Visions hebben drie werkgroepen gezamenlijk gewerkt aan toekomstige toepassingsmogelijkheden in de domeinen voeding, interface design en onderwijs. De visies van de werkgroepen zijn zowel breed – zoals onderwijs op maat – als specifiek, denk aan een toepassing waarbij een gamer een gevoel van lichamelijke eigenheid bij zijn avatar heeft. De verschillende visies zijn in de oorspronkelijke uitgave van *'Brain Visions: How the Brain Sciences Could Change the Way We Eat, Communicate, Learn and Judge'* opgeschreven door de verschillende experts zelf. In deze verkorte Nederlandstalige uitgave heeft de projectleider een keuze gemaakt uit de verschillende visies en deze vervolgens samengevat. De visies op de toepassingsmogelijkheden van de hersenwetenschappen binnen justitie zijn gebaseerd op lezingen gehouden tijdens het congres Justitie en Cognitie op 22 November 2007 in Zeist. Een congres dat destijds georganiseerd was door STT in samenwerking met het Rathenau Instituut en NWO.

Hieronder volgen de namen van de experts en de organisatie van waaruit zij deelnamen aan de verkenning van 2006 tot 2008.

Stuurgroep

dr. C.A. van Bochove	Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap
prof.dr. J.F.G. Bunders	Vrije Universiteit, Athena Institute for Research on Communication and Innovation in Health and Life Sciences
prof.dr.ir. M.M.J. Decré	Philips Research Europe
prof.dr. P. Hagoort	F.C. Donders Centre for Cognitive Neuroimaging
R. van Hattum	VPRO en NEMO
ir. P.P.'t Hoen (voorzitter)	ICTregie
dr. H. van Houten	Philips Research Aachen
prof.dr. C.M. Jonker	Technische Universiteit Delft, Faculteit Elektrotechniek, Wiskunde en Informatica
dr. W.N.G.M. de Laat	Top Institute Pharma
dr. P. van der Logt	Unilever Foods and Health Research Institute
dr. J.W.A. Ridder-Numan	Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap
prof.dr. M.M. Sitskoorn	Universiteit van Tilburg, Faculteit Sociale Wetenschappen
ir. J.H. van der Veen	Stichting Toekomstbeeld der Techniek
prof.dr. R. Vos	Universiteit Maastricht
prof.dr. W.J. Wadman	Universiteit van Amsterdam, Swammerdam Institute for Life Sciences

Werkgroep Mens Machine Interactie

dr. F.W. Cornelissen	Universiteit Groningen, BCN Neuroimaging Center
dr. J.B.F. van Erp (voorzitter)	TNO Human Factors
dr. E.M. Hart de Ruijter-Becker	Philips Research Europe
dr. J.F. Hoorn (D.Litt, D.Sc)	Vrije Universiteit Amsterdam, Center for Advanced Media Research
dr. W.A. IJsselstein	Technische Universiteit Eindhoven, Human Technology Interaction Group
ir. M.W. Kreijveld	Ministerie van Economische Zaken
dr. G.J.C. Lokhorst	Technische Universiteit Delft, Faculteit Techniek, Bestuur en Management
prof.dr. H. de Ridder	Technische Universiteit Delft, Faculteit Industrieel Ontwerpen
prof.dr. N.O. Schiller	Universiteit Leiden, Leiden Institute for Brain and Cognition
dr. C. van der Togt	The Netherlands Institute for Neurosciences
M.J. van der Ven	Royal Haskoning
dr. G. Wolters	Universiteit Leiden, Faculteit Sociale Wetenschappen

Werkgroep Onderwijs

drs. H.M.G. Derks	Onderwijsstichting SKOzoK
drs. H.T. Gankema	KPC Groep
dr. P. van Hof	Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap
prof.dr. J.J. Jolles	Universiteit Maastricht, Brain and Learning Center
prof.dr. J. de Lange	Utrecht Universiteit, Faculteit Betawetenschappen
dr. S.H.M. Litjens	Raad voor Gezondheidsonderzoek
ir. J.G. van Loon	Thieme Meulenhoff
prof.dr. J.M.J. Murre	Universiteit van Amsterdam, Faculteit der Maatschappij- en Gedragwetenschappen
W.H. van Noort	Oranje Nassau College
dr. G.J.A. Ramakers	The Netherlands Institute for Neurosciences
dr. F.S.J. Riemersma	Onderwijsraad
prof.dr. J. Rispens (voorzitter)	Universiteit van Utrecht, vakgroep Pedagogiek (Emeritus)
prof.dr. H. Swaab-Barneveld	Universiteit Leiden,
dr. M. van Turenhout	F.C. Donders Centre for Cognitive Neuroimaging

Werkgroep Voeding

dr. H. Bult	Nizo Food Research en Top Institute Food and Nutrition
drs. A. Felijs	VU Medisch Centrum
prof.dr. K. de Graaf	Wageningen Universiteit, Humane Voeding
dr. J. van der Grond	Leids Universitair Medisch Centrum
dr. Renate H.M. de Groot	Universiteit Maastricht, Faculteit der Geneeskunde
prof.dr. M.A. Haring	Universiteit van Amsterdam, Swammerdam Institute for Life Sciences
prof.dr. J.H.A. Kroeze	Wageningen Universiteit, Productontwerpen en Kwaliteitskunde (Emeritus)
drs. F.J.G. van de Linde (voorzitter)	Erik van de Linde Innovatie Advies
dr. P. van der Logt	Unilever Foods and Health Research Institute
dr.ir. C. Ponne	Friesland Foods
dr. A. Schaafsma	Friesland Foods
dr. J.W. Tas	Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport
dr. S. van de Vathorst	Erasmus Medisch Centrum
ing. C.J.G. Wever	Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit
dr. R.A. de Wijk	Wageningen Universiteit, Agrotechnologie en Voedingwetenschappen

Samenwerkende organisaties

Stichting Toekomstbeeld der Techniek

De Stichting Toekomstbeeld der Techniek (STT) organiseert al ruim 40 jaar brede, participatieve toekomstverkenningen op het snijvlak van technologie en samenleving. De stichting biedt daartoe een vrije ruimte waarin enthousiaste belanghebbenden elkaar ontmoeten en op creatieve wijze toekomstbeelden bouwen. Daaruit komen inspirerende visies op de toekomst van techniek en maatschappij. De stichting heeft in de afgelopen decennia een goede naam opgebouwd en mooie resultaten bereikt. De producten van de STT-verkenningen worden breed gewaardeerd door de 'afnemers', de gebruikers van de verkenningen die ook bij de verkenningen betrokken worden. Dat zijn bijvoorbeeld de overheid en het bedrijfsleven, maar ook de onderzoeksweld en maatschappelijke groeperingen. Het gaat bij de resultaten niet alleen om bijdragen aan visievorming of beleidsontwikkeling en agenda's voor de toekomst. Uit de toekomstverkenningen komen bijvoorbeeld ook onderzoeksprogramma's, netwerken of instituten voort, waarvoor de basis al tijdens de verkenningen wordt gelegd.

Het Algemeen Bestuur van STT bestaat uit ruim dertig personen uit de top van de overheid, het bedrijfsleven, de onderzoeksweld en de maatschappij. STT is een non-profitorganisatie. De activiteiten worden gefinancierd via bijdragen van overheid en bedrijfsleven.

Informatie over STT en haar producten is te vinden op de website www.stt.nl.

Rathenau Instituut

Het Rathenau Instituut stimuleert de publieke en politieke meningsvorming over wetenschap en technologie. Daartoe doet het instituut onderzoek naar de organisatie en ontwikkeling van het wetenschapsysteem, publiceert het over maatschappelijke effecten van nieuwe technologieën, en organiseert het debatten over vraagstukken en dilemma's op het gebied van wetenschap en technologie.

Maatschappelijk debat en politieke oordeelsvorming stimuleren

Technologische en wetenschappelijke ontwikkelingen roepen soms meer vragen op dan ze beantwoorden. Het Rathenau Instituut maakt zichtbaar welke betekenis deze ontwikkelingen hebben voor mens en maatschappij. Wat zijn de mogelijkheden, maar ook de risico's? Dit heet Technology Assessment (TA).

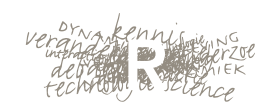
Het Nederlandse wetenschapssysteem in kaart brengen

Het Rathenau Instituut onderzoekt de dynamiek van de wetenschappelijke en technologische ontwikkeling zelf: hoe is het wetenschapssysteem georganiseerd, hoe reageert het op wetenschappelijke, maatschappelijke en economische ontwikkelingen en tot welke inhoudelijke wetenschappelijke ontwikkelingen leidt dit? Deze taak heet Science System Assessment (SciSA).

Het Rathenau Instituut is inhoudelijk onafhankelijk en is in 1986 ingesteld door het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap, dat haar ook financiert. Het instituut is beheersmatig ondergebracht bij de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (KNAW).

Meer informatie? Zie www.rathenau.nl.

Stichting
Toekomstbeeld
der Techniek



Rathenau Instituut



Het brein is zonder meer hot. Publiek en media omarmen het hersenonderzoek dat pubergedrag, verslaving, racisme, muzikaliteit en de liefde in neurobiologische termen uiteen weet te zetten. Populair-wetenschappelijke boeken gaan als warme broodjes over de toonbank. Iedere krant, week- of maandblad bevat wel een artikel met het laatste nieuws uit het hersenonderzoek. Paradoxaal genoeg zullen veel neurowetenschappers aangeven dat hun wetenschapsveld – ondanks alle publieke aandacht die zij nu krijgt en zelf creëert – nog maar in de kinderschoenen staat. Dat is niet zo vreemd, want de hersenen zijn het meest complexe systeem op aarde. De hersenwetenschappen balanceren op een dunne lijn – zoals zo veel snel ontwikkelende wetenschapsvelden voor hen – tussen het creëren en temperen van hoge verwachtingen uit de maatschappij.

In de toekomstverkenning *Brain Visions* van de Stichting Toekomstbeeld der Techniek (STT), waarvan het boek in 2009 verscheen kwamen Nederlandse neuro- en cognitiewetenschappers samen met andere wetenschappers en experts uit industrie en praktijk om na te denken over toepassingen van neurowetenschappelijk onderzoek voor de domeinen voeding, onderwijs, mens-machine interfaces en justitie. Hoewel er dus nog veel te ontdekken is over de werking van ons brein, blijkt uit de STT-verkenning dat er wel degelijk stukjes van de puzzel zijn die als basis kunnen dienen voor toegepast neurowetenschappelijk onderzoek.

De belangrijkste inzichten uit het STT-project zijn te lezen in deze verkorte Nederlandstalige uitgave die wordt uitgegeven in samenwerking met het Rathenau Instituut.

Beelden van het Brein geeft een mooi overzicht van toepassingen die soms veel (bijvoorbeeld het gebruik van neuro-imaging voor de evaluatie en optimalisatie van mens-machine interfaces), maar soms ook weinig kans van slagen (bijvoorbeeld fMRI voor leugendetectie) lijken te hebben. Bovendien gaat de publicatie in op een aantal condities waaronder de hersenwetenschappen zowel academisch als economisch en maatschappelijk relevante resultaten kunnen blijven opleveren. Denk aan stimulering van inter- en transdisciplinair hersenonderzoek en de ontwikkeling van een onderzoeksagenda naar de ethische, juridische en sociale aspecten van de groeiende kennis van ons brein.

