

Data en interpretaties in de cognitieve neurowetenschap

*W.F.G. Haselager, F. Leoné en D.A.G. van Toor**

De cognitieve neurowetenschap (hierna: CN) bestudeert thema's waarvan er vele potentieel juridische relevantie hebben. CN is van grote invloed op discussies over de vrije wil (Lamme 2010; Haselager 2013) en over de invloed van emoties op rationaliteit en redelijkheid (Damasio 1994). Er wordt vooruitgang geboekt in het steeds beter kunnen 'lezen' van mentale processen (Kamitani & Tong 2005), zelfs in verband met intenties (Haynes e.a. 2007). Ook de mogelijkheid van neuronale leugendetectie (Murphy & Greely 2011) en geheugendetectie (Verschuere e.a. 2011) trekt sterk de aandacht. Een relatief recent geïntroduceerde mogelijkheid betreft de zogenoemde 'neuropredictie' (Nadelhoffer e.a. 2010). De gedachte is dat CN ons vermogen kan vergroten om voorspellingen te doen over het gedrag van een individu, op basis van een onderzoek van zijn brein, waarbij bijvoorbeeld specifiek gekeken wordt naar de identificatie van de neuronale correlaten (hierna: NC's) van psychopathie, en de rol daarvan bij het inschatten van geweldsrisico's. In Nederland speelt neurowetenschappelijk bewijs inmiddels in sommige (straf)rechtszaken een rol. Hieronder geven we een tweetal voorbeelden bij welk soort onderwerpen we nu al – en in de toekomst waarschijnlijk alleen maar meer – neurowetenschappelijk bewijs tegen kunnen komen.

In een Nederlandse strafzaak speelde neurowetenschappelijk onderzoek een rol bij de beoordeling of de verdachte, gezien haar (dissociatieve) stroomis, opzettelijk het delict had begaan.¹ De verdachte werd vervolgd voor opzettelijke levensberoving. Zij verdedigde zich door te stellen dat ze dit delict al slaapwandelend had gepleegd, waardoor niet

* Dr. Pim Haselager is als associate professor verbonden aan het Donders Institute for Brain, Cognition and Behaviour van de Radboud Universiteit. Frank Leoné, MSc is promovendus bij het Donders Institute for Brain, Cognition and Behaviour van de Radboud Universiteit. Dave van Toor, LL.M, BSc is als junior docent/promovendus verbonden aan de Faculteit der Rechtsgeleerdheid van de Radboud Universiteit. Corresponderende auteur: w.haselager@donders.ru.nl.

1 Rb. Zutphen 9 november 2007, LJN BB7529.

kon worden gesproken van het willens en wetens aanvaarden van de aanmerkelijke kans op de dood van het slachtoffer. De rechtbank oordeelde, na het horen van verschillende deskundigen, dat de verdachte 'weliswaar lichamelijk ruw uit haar slaap is gewekt, maar niet tot normaal bewustzijn is gekomen en in een dissociatieve toestand en onder invloed van droombeelden heeft gehandeld'.

Ook bij de beoordeling van voorbedachte rade (dat wil zeggen kalm beraad en rustig overleg) kan neurowetenschappelijk onderzoek een rol spelen.² In een moordzaak werd door de verdediging beargumenteed dat bij de verdachte de voorbedachte rade ontbrak, waardoor er geen sprake kan zijn van moord. De deskundigen in deze zaak verklaren dat de verdachte schade heeft aan de frontale hersenschors, en dat deze schade de keuzevrijheid beperkte om het gedrag te bepalen.

In dit artikel willen wij dieper ingaan op de wijze waarop neurowetenschappelijke data bijdragen aan verklaringen en mogelijk voorspellingen van gedrag en cognitie. We beogen de lezer een niet-technisch kijkje achter de schermen te geven om zodoende enig inzicht te verschaffen in de complexe keten van metingen, aannames en gevolgtrekkingen die een rol spelen bij het interpreteren van neurowetenschappelijke data. Omdat we sterk de nadruk leggen op de complexiteit van de diverse problemen waar CN mee te maken heeft (zie ook Hardcastle & Stewart 2002), is het wellicht goed hier alvast te vermelden dat we daarmee uiteraard niet willen beweren dat die problemen onoplosbaar zijn. Integendeel, de progressie van CN-onderzoek, en de groeiende relevantie daarvan voor maatschappelijke kwesties, valt niet te ontkennen. Wel is van belang om bij het inschatten van de waarde en betrouwbaarheid van algemene interpretaties van onderzoek iets te weten van de achtergrond van CN, en van de moeilijkheden die overwonnen moeten worden. In concrete gevallen is het aan de experts om zo nauwkeurig mogelijk uitspraken te doen.

2 Rb. Den Bosch 5 september 2007, LJN BB2861.

Niveaus van analyse en neuronale mechanismen

In 2007 schreef de *New York Times* (Rosen 2007; onze vertaling):

‘Als geschiedenisschrijvers in de toekomst proberen vast te stellen op welk moment de neurowetenschap het Amerikaanse juridische systeem begon te veranderen, zouden ze kunnen wijzen naar een weinig opgemerkte casus van begin 1990.’

Het betreft hier het geval Weinstein (65), die na een discussie over de kinderen zijn vrouw wurgde en daarna van de twaalfde etage uit het raam gooide. Zijn advocaat beargumenteerde dat Weinstein niet zichzelf was als gevolg van een cyste in de arachnoïdale membraan (die als een schil om de hersenen ligt). Een MRI- en PET-scans (MRI: Magnetic Resonance Imaging, PET: Positron Emission Topography; zie Rojas-Burke 1993) lieten aanzienlijke schade zien in de frontale en temporele cortex.

De rechter oordeelde (8 oktober 1992) dat de advocaat wel tegen de jury kon zeggen dat de hersenscans een cyste hadden geïdentificeerd, maar niet dat de cyste geassocieerd was met geweld. Desondanks was de aanklager bereid een schikking te treffen, wellicht uit angst dat de foto's van Weinstein's hersenen de jury zouden overtuigen. Zoals Weinstein's advocaat zei: ‘Ik dacht dat als de jury die PET-scan zou zien met dat grote, zwarte gat in het brein, ze hem niet zouden veroordelen’ (Davis 2012; onze vertaling).³ Het is precies dit punt waarop we in dit artikel de aandacht willen vestigen. Hoe kan de neurowetenschap bijdragen aan een verantwoorde *interpretatie* van hersenmetingen? Welke problemen moeten worden overwonnen, en op welke manier, om wetenschappelijk vast te stellen of er sprake is van een beschadiging of afwijking in de hersenen en de cognitieve en volitionele gevolgen daarvan? Het onderzoek van CN beoogt cognitie en gedrag te begrijpen, zodanig dat verklaringen, voorspellingen en zelfs beïnvloeding mogelijk worden. Daartoe beweegt CN zich op verschillende niveaus van analyse. In het vocabulaire van de neurowetenschapper bevinden zich psychologische concepten zoals agressie, intentie en controle (zowel in hun alledaagse als in wetenschappelijke betekenissen). Een niveau lager, op het zogenoemde functionele

3 Zie De Kogel, Schrama en Smit (2011) voor een bespreking van een andere illustratieve casus.

niveau, worden begrippen gehanteerd die cognitieve functies en mechanismen, of onderdelen daarvan, aanduiden. Het gaat bijvoorbeeld om een syntactische ontledingsmodule in verband met taal, om conflictmonitoring, aandachtscontrole of impulscontrole in verband met zelfbeheersing. Ten slotte wordt er gesproken in termen van hersengebieden en -circuits (cortex cingularis anterior, lateraal prefrontale cortex).

CN streeft ernaar verbanden te leggen tussen de fenomenen op alle drie de niveaus. Welke hersengebieden implementeren componenten van de mechanismes die psychologische processen mogelijk maken? Levert bijvoorbeeld de cortex cingularis anterior zodanig een bijdrage aan conflictmonitoring dat deze bijdraagt aan de sturing van aandacht en zelfbeheersing? Om daarnaast specifiek relevant voor het recht te zijn zal nog een verbinding moeten worden gemaakt met juridische concepten als verwijtbaarheid, toerekenbaarheid en eventueel zelfs opzet. Die laatste kwestie laten wij hier buiten beschouwing. In het onderstaande zullen we ons toespitsen op het gebruik van single cell recordings en fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging), omdat deze twee technieken de afgelopen twee decennia als kenmerkend voor de CN kunnen worden beschouwd.

Neuronale correlaten

Een methodologisch cruciaal onderdeel van CN is de speurtocht naar NC's. NC's zijn hersentoestanden en/of -processen die betrouwbaar covariëren met mentale toestanden en/of processen die leiden tot gedrag. In de woorden van Nadelhoffer e.a. (2010, p. 14; onze vertaling):

'Neurowetenschappers hebben de laatste twee decennia enorme progressie geboekt in het identificeren en onderzoeken van sommige neuronale correlaten van geweld en agressie.'

Het vinden van NC's vormt een belangrijk startpunt voor het verhelderen van hoe hersengebieden en -mechanismen bijdragen aan het optreden van het cognitieve of gedragsmatige fenomeen. Een van de beste technieken voor het vaststellen van NC's is de 'single cell recording' (SCR). Een aantal elektrodes wordt in of direct op de cortex

geplaatst, zodat een individuele elektrode de activiteit (het 'vuren') van een neuron kan meten. Vervolgens wordt de reactie van de diverse neuronen op bijvoorbeeld visueel aangeboden stimuli gemeten. Een klassiek voorbeeld is het werk van Hubel en Wiesel (1959) in verband met lijndetectie. Neuronen in de primaire visuele cortex bleken uitbarstingen van activiteit (vaker vuren) te vertonen als op een specifiek gebied op het netvlies een lijn (zwart-witovergang) in een specifieke richting (horizontaal, verticaal, schuin) vertoond werd. De correlatie tussen stimulus (lijn op een bepaalde plek in een specifieke oriëntatie) en neuron-vaarfrequentie wordt geïnterpreteerd als representatief: het neuron signaleert een aspect van de visuele input, zoals het afgaan van een rookmelder de aanwezigheid van rook signaleert. Een spectaculair en baanbrekend recenter voorbeeld vormt het werk van Fadiga e.a. (1995) in verband met 'spiegelneuronen'. Sommige neuronen blijken zowel tijdens het uitvoeren van een handeling (bijvoorbeeld het oppakken van een klein voorwerp) als tijdens het waarnemen van een handeling (het zien oppakken van een klein voorwerp) actief te zijn. Dit leidde tot de theorie dat dergelijke neuronen een belangrijke basis vormen voor sociale interactie (je begrijpt wat je een ander ziet doen omdat dezelfde neuronen in je brein die dan actief worden, ook vuren als je zelf die handeling uitvoert).

Een dergelijke temporele correlatie tussen stimuli en neuronale activiteit, mits afdoende en onder verschillende omstandigheden vastgesteld, vormt een stevig uitgangspunt voor verder onderzoek, maar is op zichzelf nog geen *verklaring* van een bepaalde vorm van cognitie of gedrag, en daarmee ook nog niet voldoende om voorspellingen op te baseren. Om maar een paar vragen te noemen: wat betekent een verhoogde activiteit van een neuron eigenlijk precies? Is de cel bijvoorbeeld betrokken bij het verwerken van de informatie, of geeft hij die alleen maar door? Is verhoogde activiteit noodzakelijk om een bijdrage te leveren aan het verwerken (of doorgeven) van informatie, of kan een lage frequentie van vuren ook heel functioneel zijn? Reageert de cel ook op andere vormen van stimulatie of alleen op de in het experiment gebruikte (in casu het oppakken van iets)? Hoe controleer je het antwoord op de vorige vraag afdoende (het is niet haalbaar *alle* potentieel relevante stimuli stuk voor stuk uit te proberen)? Uiteraard is vervolgonderzoek erop gericht deze en andere vragen te beantwoorden, maar zoals de discussie over spiegelneuronen laat zien, kan dat decennia lang duren (Uithol e.a. 2011a, 2011b).

Waar het om gaat, is dat data afkomstig van technieken zoals single cell recordings verwerkt kunnen worden in een theorie over het *mechanisme* dat aan een cognitief vermogen (bijvoorbeeld waarneming, sociaal begrip, zelfbeheersing of aandacht) ten grondslag ligt. Waar de CN naar streeft, is een verheldering van hoe onze hersenen bijdragen aan die vermogens. Idealiter zou je dan, bijvoorbeeld bij het constateren van een hersenafwijking, kunnen postuleren dat een mechanisme, en daarmee een cognitief vermogen, beschadigd is, en dat derhalve onder bepaalde omstandigheden een specifieke gedragsstoornis valt te verwachten. Maar dat vooronderstelt dat het mechanisme achter het cognitieve vermogen voldoende in kaart is gebracht. Vragen zoals bovenstaande in verband met NC's laten zien hoeveel werk het vraagt om die mechanismen goed in beeld te krijgen.

fMRI-scans en inferentiële afstand

Neurowetenschappelijke resultaten van fMRI-scans (functional Magnetic Resonance Imaging) zijn ogenschijnlijk gemakkelijk te interpreteren: het lijken foto's van het brein in actie, waarop intenties, gedachten en pathologieën kunnen worden aangewezen. Schijn bedriegt echter. Waar we er bij normale foto's van uit kunnen gaan dat wat we waarnemen op de foto een directe weerspiegeling is van het gefotografeerde, zit er bij neurowetenschappelijke resultaten een grote afstand tussen de data en de afbeelding en dus tussen data en interpretatie. De zogenoemde inferentiële afstand is groot (zie onder andere Haller & Bartsch 2009; Poldrack 2006, 2008). Deze afstand bestaat uit keuzes en aannames die in het meet- en interpretatieproces gemaakt worden om tot een resultaat te komen. Ter illustratie volgen hieronder enkele van de stappen die in de interpretatie van fMRI-resultaten nodig zijn: van activiteit in neuronen naar fMRI-activatie, het maken van contrasten, het veronderstellen van concepten en het maken van omgekeerde inferentie.

Doorbloeding

Allereerst: fMRI meet niet direct neurale activatie. In plaats daarvan meet deze de *doorbloeding* van het brein. Daar waar neurale activatie is, wordt verondersteld dat er ook meer doorbloeding is. Doordat de

maat echter zo indirect is, kan het zijn dat andere meettechnieken, die wel de elektrische activatie van neuronen meten (zoals de eerdergenoemde single cell recordings), andere resultaten laten zien. En als we dan veronderstellen dat er werkelijk neurale activiteit is, is de interpretatie van die activiteit niet eenduidig. Activatie kan bijvoorbeeld omhooggaan in een gebied: betekent dit dat het gebied meer actief is, en dus meer betrokken, of dat het gebied minder efficiënt de invoer verwerkt? En misschien is de functie van het gebied juist wel het inhiberen van een ander gebied. Het brein vertelt ons deze interpretatie niet direct, neurowetenschappers moeten aannames maken om tot een interpretatie van activatie te komen.

Contrasten

Deze interpretatie gebeurt veelal op basis van een tweede grote stap: het maken van *contrasten*. Stel dat neurowetenschappers willen weten waar morele overwegingen in het brein zitten. Zij zullen dan een experiment opzetten waarin in de ene taak morele afwegingen worden gemaakt (bijvoorbeeld: zou je een persoon uit de reddingsloep zetten als daarmee de andere inzittenden gered worden?) en in de andere taak niet-morele vergelijkbare afwegingen (bijvoorbeeld: zou je een grote tas met kleren uit de sloep zetten om de inzittenden te redden?). Voor beide taken vinden de onderzoekers vervolgens activatie in het brein, die ze van elkaar aftrekken: daar waar de activatie voor de morele taak groter is dan voor de niet-morele, bevinden zich de moraliteitgebieden. Dit is alleen waar onder de veronderstelling dat de twee taken enkel verschillen in het morele aspect, en niet bijvoorbeeld in hoe moeilijk de afweging is, anders zouden het ook 'moeilijkheidsgebieden' kunnen zijn. En de aanname is dat activaties van elkaar af te trekken zijn, in casu de aanname: morele afweging – niet-morele afweging = moraliteit. Dat kan alleen als het onderdeel 'afweging' in beide gevallen precies dezelfde breinactivatie geeft. Oftewel: de moraliteit en de afweging dienen onafhankelijk te zijn. Ter illustratie (iетwat overdreven voor de duidelijkheid): stel dat je een dier ziet als een optelling van de onafhankelijke onderdelen poten, kop, romp en staart. Is dan de activatie voor een slang (enkel een 'staart') gelijk aan een hond min de kop, romp en poten? Het is de vraag of een dergelijke absolute onafhankelijkheid van de componenten van een cognitief proces altijd opgaat.

Opdeling in verschillende onderdelen

De derde grote stap ligt hier gedeeltelijk aan ten grondslag: hoe kunnen we het brein opdelen in *verschillende onderdelen*? Wat moeten die onderdelen zijn? Wat we automatisch doen, is het brein opdelen aan de hand van alledaagse concepten, oorspronkelijk veelal afkomstig uit de cognitieve psychologie, zoals aandacht, geheugen, emotie en klinische concepten, zoals autisme en psychopathie. Dat is waar neurowetenschappers de gebieden bij zoeken. Maar wil dat ook zeggen dat deze onderscheidingen in het brein 'echt' zijn? Dat een breingebied ook echt 'aandacht' als taak heeft? Wat als dat gebied ook andere taken uitvoert, zoals rekenen en beslissingen nemen? Is het dan nog steeds een aandachtsgebied, doet het gebied dan meerdere taken, of klopt misschien ons concept 'aandacht' niet? Wij nemen tenslotte concepten enkel a priori aan, maar dat betekent niet dat het brein ook zo is opgedeeld. Sterker nog: het lijkt al te toevallig als dat werkelijk het geval zou zijn. Elk label dat neurowetenschappers plakken, bestaat dus enkel onder de aanname dat het label bestaat en zinnig is. Maar in werkelijkheid zal het louter een grove benadering zijn van wat een gebied werkelijk doet: het zijn de concepten die we aannemen die bepalen wat we kunnen vinden in het brein, en dat is per definitie een incompleet, mogelijk zelfs incorrect, beeld.

Omgekeerde inferentie

De vierde grote stap is de *omgekeerde inferentie* die nodig is om uit breinactivatie de functie af te leiden. Wat in experimenten gebeurt, is dat een taak wordt uitgevoerd en op basis daarvan de functie van breinactivatie wordt afgeleid. Echter, in veel neurowetenschappelijke studies en zeker in juridische toepassingen is juist het omgekeerde nodig: het uit breinactivatie of schade afleiden van de functie. Deze omkering van de redentie kan enkel als de activatie ook daadwerkelijk uniek is voor de specifieke functie. Dit is echter vaak niet het geval: veel gebieden hebben meerdere functies en veel functies zitten op meerdere plekken. Dus uit activatie of schade alleen kan vaak niet een functie worden afgeleid, daarvoor is de rol van breingebieden niet specifiek genoeg. Stel bijvoorbeeld dat de amygdala bij psychopaten meer actief is dan bij controleproefpersonen in een specifieke studie. Kunnen we daaruit nu afleiden dat als we een niet-gediagnosticeerd per-

soon in de scanner leggen, de constatering van meer activiteit in de amygdala aangeeft dat hij of zij een psychopaat is? Nee, dit kan niet. Het kan goed zijn dat er veel andere mensen zijn waarbij de amygdala ook actiever is, maar die geen psychopaat zijn. Ook kan het zijn dat er psychopaten zijn die geen verhoogde amygdala-activatie laten zien. De resultaten van de studie zeggen wat over de gemiddelde score van de twee groepen in de studie. De betekenis in breder verband hangt volledig af van hoe specifiek het effect is: welke andere oorzaken van vergrote activatie in de amygdala kunnen er nog zijn en hoeveel psychopaten, ook buiten de geteste groep, laten het effect zien? De afstand zoals hierboven uiteengezet, hoeft op zich geen probleem te zijn, zolang de keuzes en aannames gefundeerd zijn en het resultaat niet sterk beïnvloed wordt door de keuzes. Want teneinde neurowetenschappelijke resultaten te gebruiken in een rechtszaak, dienen de interpretatie en betekenis betrouwbaar en boven redelijke twijfel verheven te zijn. En dat is in de praktijk vooralsnog niet altijd het geval: de keuzes en aannames hebben grote invloed op de resultaten, wat mede bijdraagt aan de grote verscheidenheid aan functies die aan breingebieden wordt toegeschreven. Bijvoorbeeld activatie in of schade aan een bepaald breingebied bij een verdachte heeft daarmee geen eenduidige interpretatie en op zichzelf genomen dus slechts beperkte waarde. Het kan hooguit met een bepaalde zekerheid aangeven dat de verdachte aan een bepaalde aandoening lijdt, maar die zekerheid moeten we op dit moment niet overschatten.

Conclusie

De CN is een wetenschap zoals alle andere. Er wordt gezocht en gevonden, vragen worden opnieuw geformuleerd, concepten gebruikt en verworpen. De methoden van onderzoek zijn, net als de gebruikte apparatuur, vaak uiterst complex. Om de afstand te overbruggen van het meten van data naar de interpretatie daarvan is een complexe keten van aannames en keuzes noodzakelijk. We hebben specifiek gekeken naar de metingen van activiteit van individuele neuronen (single cell recordings) en naar het gebruik van fMRI. Uiteraard beschikt de CN over veel meer meetmethodes, die elk hun eigen specifieke toepassingsmogelijkheden bieden, maar ook weer een keur aan voor- en nadelen met zich meebrengen. De gedachte is dat uiteindelijk

via al deze verschillende methodes, en voortgaande theorievorming, de neuronale mechanismen die ons denken en handelen mede mogelijk maken, volledig beschreven en begrepen kunnen worden. Het is de toenemende convergentie tussen deze verschillende vormen van onderzoek, de groeiende samenhang qua resultaten en hun interpretaties, die de verschillende toepassingen van CN-onderzoek mogelijk maken (Bechtel 2002). Die samenhang groeit snel genoeg om implicaties voor de rechtspraak te kunnen hebben. Voor een goede beoordeling van die implicaties is het nuttig en nodig enige kennis te hebben van de complexiteit van CN-onderzoek. Het moge duidelijk zijn dat het interpreteren van neurowetenschappelijk bewijs, zeker voor een leek, niet zo eenvoudig is als het op het eerste gezicht lijkt. Het is derhalve belangrijk dat rechters, officieren van justitie en advocaten beseffen dat ze niet te snel vergaande conclusies kunnen verbinden aan hersenbeelden.

Literatuur

Bechtel 2002

W. Bechtel, 'Aligning multiple research techniques in cognitive neuroscience: Why is it important?', *Philosophy of Science* (69) 2002, p. 48-58.

Damasio 1994

A. Damasio, *Descartes' error: Emotion, reason, and the human brain*. New York: Putnam 1994.

Davis 2012

K. Davis, 'Brain trials: Neuroscience is taking a stand in the courtroom', *American Bar Journal* 1 november 2012 (www.abajournal.com/mobile/mag_article/brain_trials_neuroscience_is_taking_a_stand_in_the_courtroom).

Fadiga e.a. 1995

L. Fadiga, L. Fogassi, G. Pavesi & G. Rizzolatti, 'Motor facilitation during action observation: A magnetic stimulation study', *Journal of Neurophysiology* (73) 1995, p. 2608-2611.

Greely & Illes 2007

H.T. Greely & J. Illes, 'Neuroscience-based lie detection: The urgent need for regulation', *American Journal of Law & Medicine* (33) 2007-2/3, p. 377-431 (www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17910165).

Haller & Bartsch 2009

S. Haller & A. Bartsch, 'Pitfalls in fMRI', *European Radiology* (19) 2009, p. 2689-2706.

Hardcastle & Stewart 2002

V.G. Hardcastle & M.C. Stewart, 'What do brain data really show?', *Philosophy of Science* (69) 2002, p. 72-82.

Haselager 2013

W.F.G. Haselager, 'De vrije wil wordt mede mogelijk gemaakt door de hersenen', in: P. Oomen (red.), *Vrije wil: een hersenkronkel? Hernieuwd debat over een brandende kwestie*, Zoetermeer: Uitgeverij Klement, 2013.

Haynes e.a. 2007

J.-D. Haynes, K. Sakai, G. Rees, S. Gilbert, C. Frith & R.E. Passingham, 'Reading hidden intentions in the human brain', *Current Biology* (17) 2007-4, p. 323-328 (doi:10.1016/j.cub.2006.11.072)/

Hubel & Wiesel 1959

D.H. Hubel & T.N. Wiesel, 'Receptive fields of single neurons in the cat's striate cortex', *Journal of Physiology* (148) 1959, p. 574-591.

Jones e.a. 2009

O.D. Jones, J.W. Buckholtz, J.D. Schall & R. Marois, 'Brain imaging for legal thinkers: A guide for the perplexed', *Stanford Technology Law Review* (1051) 2009 (<http://stlr.stanford.edu/pdf/jones-brain-imaging.pdf>).

Kamitani & Tong 2005

Y. Kamitani & F. Tong, 'Decoding the visual and subjective contents of the human brain', *Nature Neuroscience* (8) 2005-5, p. 679-685 (doi:10.1038/nn1444).

De Kogel, Schrama & Smit 2011

K. de Kogel, W. Schrama & M. Smit, 'Civiel recht en neurowetenschap', *Weekblad voor Privaatrecht, Notariaat en Registratie* (6912) 2011, p. 1095-1104 (<http://igitur-archive.library.uu.nl/law/2012-0604-201342/UUindex.html>).

Lamme 2010

V. Lamme, *De vrije wil bestaat niet. Over wie er echt de baas is in het brein*, Amsterdam: Bert Bakker 2010.

Murphy & Greely 2011

E.R. Murphy and H.T. Greely, 'What will be the limits of neuroscience-based mindreading in the law?', in: *The Oxford handbook of neuroethics*, J. Illes & B. Sahakian (ed.), Oxford: Oxford University Press, 2011.

Nadelhoffer e.a. 2010

T. Nadelhoffer, S. Bibas, S. Grafton, K. Kiehl, A. Mansfield, W. Sinnott-Armstrong & M. Gazzaniga, 'Neuroprediction, violence, and the law: Setting the stage', *Neuroethics* (5) 2010-1, p. 67-99 (doi:10.1007/s12152-010-9095-z).

Poldrack 2006

R. Poldrack, 'Can cognitive processes be inferred from neuroimaging data?', *Trends in Cognitive Sciences* (10) 2006-2, p. 59-63.

Poldrack 2008

R. Poldrack, 'The role of fMRI in cognitive neuroscience: Where do we stand?', *Current Opinions in Neurobiology* (18) 2008, p. 223-227.

Rojas-Burke 1993

J. Rojas-Burke, 'PET scans advance as tool in insanity defense: Debate erupts over the capabilities of brain scanning technology', *The Journal of Nuclear Medicine* (34) 1993-1, p. 13-26 (<http://jnm.snmjournals.org/content/34/1/13N.full.pdf+html>).

Rosen 2007

J. Rosen, 'The brain on the stand', *New York Times* 11 maart 2007 (www.nytimes.com/2007/03/11/magazine/11NeuroLaw.t.html?pagewanted=all&_r=0).

Uithol e.a. 2011a

S. Uithol, I. van Rooij, H. Bekkering & P. Haselager, 'What do mirror neurons mirror?', *Philosophical Psychology* (24) 2011-5, p. 607-623 (doi:10.1080/09515089.2011.562604).

Uithol e.a. 2011b

S. Uithol, I. van Rooij, H. Bekkering & P. Haselager, 'Understanding motor resonance', *Social Neuroscience* (6) 2011-4, p. 388-397 (doi:10.1080/17470919.2011.559129).

Verschuere e.a. 2011

B. Verschuere, G. Ben-Shakhar en E. Meijer, *Memory Detection. Theory and application of the concealed information test*. Cambridge: Cambridge University Press, 2011.

Vincent 2009

N. Vincent, 'On the relevance of neuroscience to criminal responsibility', *Criminal Law and Philosophy* (4) 2009-1, p. 77-98 (doi:10.1007/s11572-009-9087-4).

Vincent 2011

N. Vincent, 'Neuroimaging and responsibility assessments', *Neuroethics* (4) 2011-1, p. 35-49 (doi:10.1007/s12152-008-9030-8).