Wetenschappelijke doorbraken de klas in!

Waarnemen en bewegen, Onder invloed en Gevaarlijke ideeën

Marieke Peeters, Winnie Meijer & Roald Verhoeff (redactie)

Hoofdstuk 2: Waarnemen en bewegen

wetenschapsknooppunt
Radboud Universiteit

Colofon

Redactie: dr. Marieke Peeters, Winnie Meijer MSc & dr. Roald Verhoeff
Ontwerp cover en binnenwerk: Elke Jacobs
Opmaak binnenwerk: Inhoud & Vorm, Madelon van Honk, Nathan Tax
Druk en afwerking: Drukkerij Efficiënt Nijmegen

Eerste druk, januari 2014
ISBN : 978-90-818461-2-7

Wilt u een exemplaar bestellen?
Ga naar: www.wkru.nl/boek

Uitgave:
Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit Nijmegen
Heyendaalseweg 135 – postvak 77
Postbus 9010
6500 GL Nijmegen
Nederland

E-mail: infowkru@ru.nl
Telefoon: (024) 366 72 22
Internet: www.wkru.nl

2014 Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit Nijmegen

Dit werk is gelicenseerd onder de licentie Creative Commons Naamsvermelding-GelijkDelen 4.0 Internationaal. Ga naar http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.nl om een kopie van de licentie te kunnen lezen.
Voor afbeeldingen gelden andere licentievoorwaarden zie pagina 194 in dit boek.

Hoofdstuk 2. Waarnemen en bewegen

Dit hoofdstuk beschrijft in twee delen het onderzoeksthema 'Waarnemen en bewegen'. Paragraaf 2.1 gaat dieper in op de koppeling tussen waarnemen en bewegen in onze hersenen. In paragraaf 2.2. wordt een praktijkvoorbeeld beschreven van hoe het onderzoek naar waarnemen en bewegen vertaald is naar een bovenbouwklas op basisschool de Muze. De activiteiten zijn ook hier weer beschreven aan de hand van de zeven stappen van het onderzoekend leren.

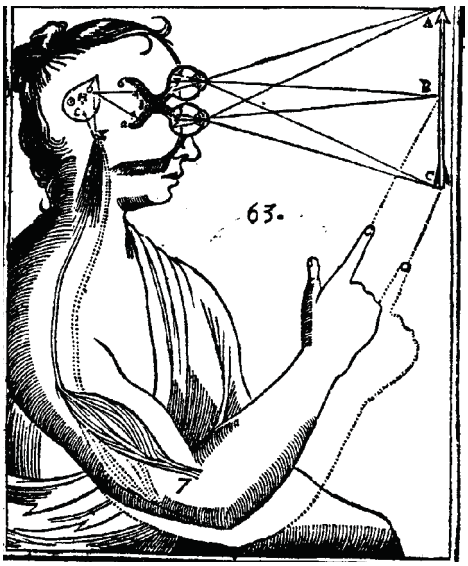
2.1 Onderzoek naar waarnemen en bewegen op het Donders Instituut

‘Waarnemen en bewegen’

Pieter Medendorp (hoogleraar Sensomotorische Integratie), Femke Maij (postdoctoraal onderzoeker), Jeroen Atsma (promovendus) en Bart Alberts (promovendus). Allen zijn werkzaam in het sensorimotorlab van het Donders Institute for Brain, Cognition and Behaviour aan de Radboud Universiteit Nijmegen.

Inleiding

Mensen zijn uitgerust met meerdere zintuigen, die ieder reageren op specifieke prikkels, zoals het oog op licht en het oor op geluid. Op basis van zulke continu veranderende prikkels bouwen we een waarneming op van dingen in onze omgeving, en vullen we ons geheugen met impressies van de wereld. Maar wat is het doel van onze waarneming? Een algemeen antwoord is dat de waarneming een rol speelt in het sturen en activeren van menselijk gedrag. De waarneming dient geen passieve beleving of statische ervaring, maar is een drijfveer voor actie. Acties brengen we tot stand met ons motorisch systeem. Door het activeren van onze spieren kunnen we kijken, reiken, rennen of ontsnappen aan gevaar. Maar de voordelen van bewegingen hebben ook een keerzijde. Bewegingen creëren een bron van verwarring voor de zintuigen, ofwel de waarneming. Als je bijvoorbeeld iets voelt op je huid kan het zijn dat je wordt aangeraakt door iets in de omgeving, of andersom, dat je zelf iets aanraakt in de omgeving door te bewegen. Hoe maakt onze waarneming het onderscheid? Algemeen geformuleerd: hoe komt de koppeling tussen waarnemen en bewegen tot stand? Het antwoord hierop vinden we in onze hersenen. In de zeventiende eeuw beschreef de Franse filosoof René Descartes al de koppeling tussen waarnemen en bewegen (zie afbeelding Descartes). Hij beschikte nog niet over de hedendaagse technieken om de rol van de hersenen te ontrafelen. Daarvoor had de wetenschap nog een lange weg te bewandelen. Inmiddels weten we dat zenuwcellen in de hersenen de informatie- en signaalverwerkers van het lichaam zijn.

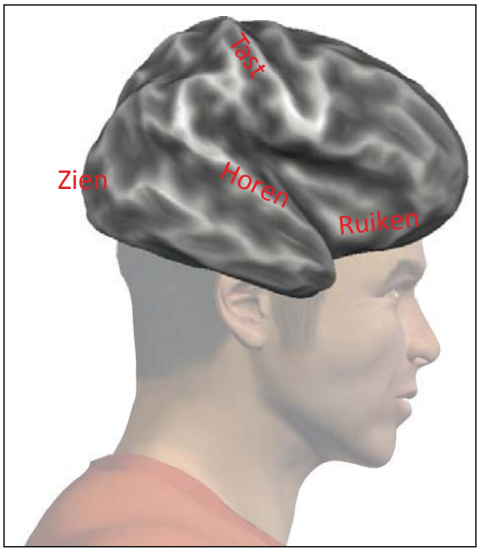


De relatie tussen zien en bewegen, volgens Descartes.

Laten we, om meer te weten te komen, als kleine mensjes (homunculi) opklauteren langs versleten ruggenwervels naar de cortex van het huis, om Anna Enquist te parafraseren. We komen dan langs een aantal belangrijke zintuigen. De receptoren in de huid, deel van het zogenoemde tastsysteem, voelen de stappen van onze kleine voeten. Bij de ogen zien we hoe lichtstralen het netvlies bereiken om beelden van de wereld achter te laten, wat scherper in het midden van het netvlies, de gele vlek, en wat vager eromheen. Bij de gehoorgang lopen we het oor in en zien hoe geluidsgolven in het slakkenhuis omgezet worden in elektrische signalen. We verbazen ons over de

uitgeholde ruimte ernaast, het binnenoor, waar we een verzameling van zakjes en buisjes tegenkomen, waarmee draai- en rechtlijnige hoofdbewegingen gevoeld worden. Dit diep verborgen zintuig wordt ook wel het vestibulaire systeem genoemd, maar we kennen het beter als het evenwichtsorgaan. Het helpt ons om balans te houden, zodat we kunnen lopen en fietsen.

Onder het schedeldak liggen onze hersenen, verdeeld in twee helften. Groeven en windingen wisselen elkaar af en creëren een enorm oppervlak met een dunne laag zenuwcellen, die beter zichtbaar is als we virtueel de hersenen als een ballon opblazen (zie afbeelding van zijaanzicht van de hersenen). Deze zenuwcellen, neuronen genoemd, miljarden in getal, communiceren door elektrische prikkels aan elkaar door te geven. De informatie van ieder zintuig wordt verwerkt in een specifiek hersengebied. Informatie arriveert daar met een zekere vertraging, die kan oplopen tot 100 milliseconden. Kijkinformatie vanuit de ogen komt aan in het achterste gedeelte van de hersenschors, de oren sturen de geluidsinformatie door naar de meer zijwaarts gelegen gebieden en het tastgevoel begint centraal bovenin. Daartussen liggen de hersengebieden die betrokken zijn bij het koppelen van waarnemen en bewegen, evenals het gebied waar onze eerdere ervaringen, herinneringen en kennis opgeslagen zijn.



Zijaanzicht van de hersenen. Door de hersenen als een ballon op te blazen, kan zowel in de groeven (sulci) als op de windingen (gyri) gekeken worden.

In ons dagelijks leven zijn we ons niet bewust van de complexiteit onder ons schedeldak. Zonder moeite nemen we onze omgeving waar en met schijnbaar gemak komen onze interacties met de omgeving tot stand. Pas wanneer een nieuwe beweging geleerd moet worden, zoals bij ballet, merken we hoe moeilijk het is om waarnemen en bewegen goed op elkaar af te stemmen. Ook als we geblesseerd raken, bij sommige hersenziekten of vanwege ouderdom, raken waarnemen en bewegen minder goed op elkaar afgestemd. Er ontstaan fouten in de waarneming, bewegingen worden trager en minder nauwkeurig. Waarom dit gebeurt is een belangrijke vraag. Niet alleen om te begrijpen hoe de afstemming tussen waarnemen en bewegen in elkaar steekt, maar ook om deze afstemming te kunnen herstellen of verbeteren als die bijvoorbeeld door ziekte is aangetast. Hiervoor is wetenschappelijk onderzoek nodig naar de relatie tussen hersenen en gedrag en meer in het bijzonder naar de afstemming tussen waarnemen en bewegen. Op dit laatste richten wij ons in ons laboratorium, het sensorimotorlab van het Donders Institute for Brain, Cognition and Behaviour aan de Radboud Universiteit Nijmegen.

Waarnemen en bewegen

Prof. dr. Pieter Medendorp

Pieter Medendorp studeerde technische natuurkunde aan de Hogeschool Enschede en experimentele natuurkunde, met specialisatie Biofysica, aan de Radboud Universiteit. In 2001 promoveerde hij aan de Radboud Universiteit op onderzoek naar de controle van oog-, hoofd- en armbewegingen voor perceptie en actie. Vervolgens werkte hij in Canada als postdoctoraal onderzoeker aan de York University in Toronto en de Western University in London. In 2003 werd hij als senioronderzoeker aangesteld bij het Donders Institute for Brain, Cognition and Behaviour, waar hij de onderzoeksgroep Sensorimotor Control leidt. Hij is bijzonder geïnteresseerd in hoe de hersenen de koppeling tussen waarnemen en handelen tot stand brengen, wat hij bestudeert met behulp van gedragsexperimenten, beeldvormende technieken en computersimulaties. Sinds september 2011 is hij hoogleraar Sensomotorische Integratie en sinds oktober 2011 directeur van het Centre for Cognition, binnen het Donders Institute for Brain, Cognition and Behaviour aan de Radboud Universiteit Nijmegen.

De juiste onderzoeksvraag

Onderzoek naar de relatie tussen waarnemen en bewegen begint met het stellen van de juiste onderzoeksvraag. In onze onderzoeksgroep stellen we kleinere deelvragen. Met deze deelvragen kunnen we allerlei kenmerken van waarnemen en bewegen bestuderen, zoals: hoe interpreteren de hersenen onbetrouwbare informatie, hoe maken de hersenen keuzes, hoe maken de hersenen voorspellingen en hoe passen de hersenen zich aan een nieuwe omgeving aan? Verderop in deze paragraaf zullen we hier nader op ingaan.

Wij doen een aanname in ons onderzoek, namelijk dat onze hersenen gedrag teweegbrengen dat optimaal is voor de doelen die het nastreeft. Maar let op: optimaal betekent niet foutloos of perfect. Optimaliteit heeft te maken met de manier waarop het brein met informatie omgaat. Wat is informatie? Om het begrip informatie te doorgronden is zijn tegenhanger eigenlijk handiger: het idee van onzekerheid. Je hebt meer informatie nodig om je onzekerheid te verminderen. Onzekerheid ontstaat wanneer gebeurtenissen bepaald worden door kans. Als je een euro opgooit, zijn er twee mogelijke uitkomsten (kop en munt) en is er dus 50 procent kans op kop en 50 procent kans op munt. Als je een dobbelsteen gooit, ben je nog minder zeker van de uitkomst, omdat er zes mogelijke uitkomsten zijn. Op dezelfde manier is de informatie van de zintuigen ook onzeker. Er zijn willekeurige schommelingen in de zintuiglijke signalen die de hersenen binnenkomen. We spreken dan van ruis op het signaal, te vergelijken met een radiozender die niet goed afgestemd is. Door de aanwezigheid van ruis is de informatie die de zintuigen leveren over dezelfde stimulus niet elke keer gelijk. Optimaliteit stelt dat het brein op de best mogelijke manier uit ruizige informatie de waarneming construeert. Dat wil zeggen, hoe ruiziger het signaal, hoe minder invloed het heeft op de waarneming. Hetzelfde geldt voor de signalen waarmee we onze spieren aansturen; probeer met darten maar eens drie keer achter elkaar in de roos te gooien. De variaties in de plek waar de dart terecht komt, geeft aan dat de signalen naar de spieren ruizig zijn. Deze ruis kan veranderen gedurende het leven, bijvoorbeeld ten gevolge van ziektes, of doordat neuronen afsterven naarmate we ouder worden. Optimaliteit gaat ervan uit dat het brein de spieren zo aanstuurt dat de effecten van ruis op de gemaakte beweging minimaal zijn.

Onderzoek naar waarnemen en bewegen op het Donders Instituut

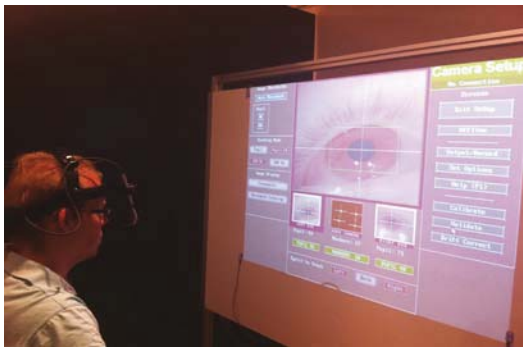
Hoe het brein de koppeling maakt tussen waarnemen en bewegen kan op verschillende niveaus onderzocht worden.

1. We kunnen het brein, of beter gezegd een deel van het brein proberen na te bootsen met een computermodel. Als we hier toe in staat zijn, begrijpen we beter hoe de hersenen reageren tijdens bepaalde taken.
2. We moeten heel precies de output van het brein – de beweging – opmeten, om wetmatigheden in dit gedrag te ontdekken. Hiervoor gebruiken we allerlei apparatuur waarmee we bewegingen vastleggen, zoals speciale oog-camera's, arm- en hoofdcamera's en andere bewegingsregistratiesystemen (zie afbeelding van de oogvolgcamera). De gevonden wetmatigheden dienen als basis van computersimulaties, op eenzelfde manier als de natuurwetten ten grondslag liggen aan simulaties in de natuurkunde.
3. We kunnen meten aan de hersenen zelf. We kunnen bijvoorbeeld gebruikmaken van functionele magnetische resonantie imaging, fMRI, een techniek die de activiteit van hersengebieden meet op basis van hun doorbloeding. Een sterkere doorbloeding betekent een verhoging van de activiteit in een bepaald gebied. Andere methodes zijn magneto- en elektro-encefalografie (MEG en EEG), die magnetische en elektrische signalen van het brein oppikken.
4. We moeten aantonen dat er een directe relatie bestaat tussen geactiveerde hersengebieden en het menselijke gedrag. Dit kan door hersengebieden tijdelijk uit te schakelen, bijvoorbeeld door een techniek genaamd transcraniële magnetische stimulatie (TMS). Met TMS worden op het hoofd kortdurende magnetische pulsen gegeven, waarmee de hersenschors kortdurend onderdrukt kan worden. Ook kunnen we patiënten bestuderen met een hersenaandoening en aldus nieuw inzicht krijgen in het ziektebeeld.

Dus om de relatie tussen waarnemen en bewegen te bestuderen, is een meervoudige onderzoeksbenadering van groot belang, een aanpak die loopt van het nabootsen op een computer, het meten van bewegingen en het registreren van hersenactiviteit tot aan het bestuderen van patiënten. Hieronder geven we een aantal voorbeelden van manieren waarop we de koppeling tussen waarnemen en bewegen onderzoeken.

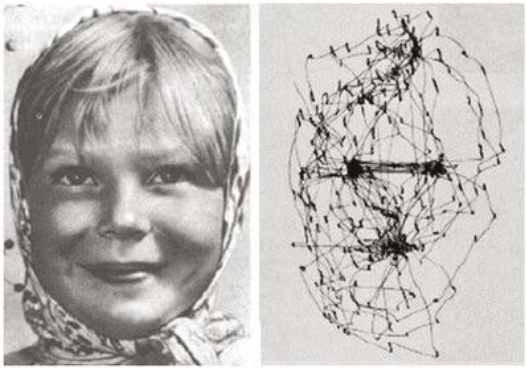
Onderzoek 1. *Zien in beweging*

Onze ogen zijn bijzondere zintuigen. Het zijn een soort digitale camera's, die razendsnel kunnen bewegen en signalen naar de hersenen sturen. Een belangrijk verschil met een digitale camera is echter dat onze ogen heel scherp zien in het midden (veel megapixels), maar veel minder scherp eromheen. Het gedeelte dat we heel scherp kunnen zien, is niet veel groter dan een euromuntje op armlengte! Omdat dit maar zo'n klein deel is, hebben we geleerd onze ogen te bewegen om zo onze omgeving af te scannen. Als je iemand ziet lezen, is dat goed te zien: de



Oogvolgcamera's waarmee oogbewegingen gemeten worden.

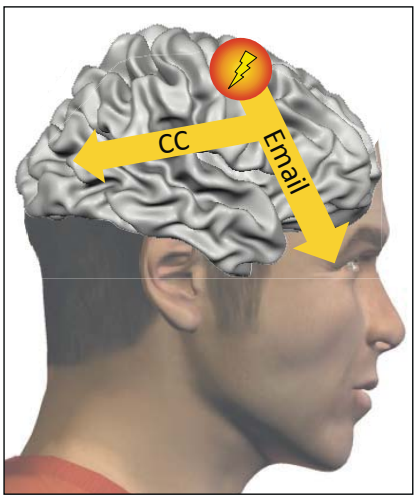
ogen blijven een fractie van een seconde staan en springen vervolgens razendsnel naar het volgende deel van de zin. In ons dagelijks leven maken we drie tot vier van zulke snelle oogbewegingen per seconde[1]. In de afbeelding zie je oogbewegingsdata van een proefpersoon gedurende drie minuten.



Oogbewegingsopnamen (rechts) van een proefpersoon die drie minuten naar de foto van het meisje kijkt (links). De dunne lijntjes geven de snelle oogbewegingen weer, de zwarte puntjes komen overeen met de fixaties (het stilstaan van het oog).

Tijdens dat verspringen van de ogen, zien we dan eigenlijk wel iets? Als je voor een spiegel staat en je kijkt van je linker- naar je rechteroog, dan zie je de beweging van je ogen niet. We zijn nagenoeg blind tijdens zo'n snelle oogbeweging. Probeer ook eens het volgende: kijk recht vooruit met je linkeroog gesloten en leg je rechter wijsvinger vlak naast je rechteroog (niet bij je neus, maar aan de andere kant). Druk nu voorzichtig tegen je oogbol. Wat zie je? Doordat ons oog een klein beetje beweegt, lijkt de wereld te wiebelen! Dit illustreert iets waar wetenschappers zich al honderden jaren het hoofd over breken. Als we het beeld van onze ogen zouden opnemen en vervolgens zouden terugzien op een tv, dan zouden we helemaal duizelig worden van alle bewegingen. Toch ervaren wij onze omgeving doorgaans als stabiel. Hoe kan dat?

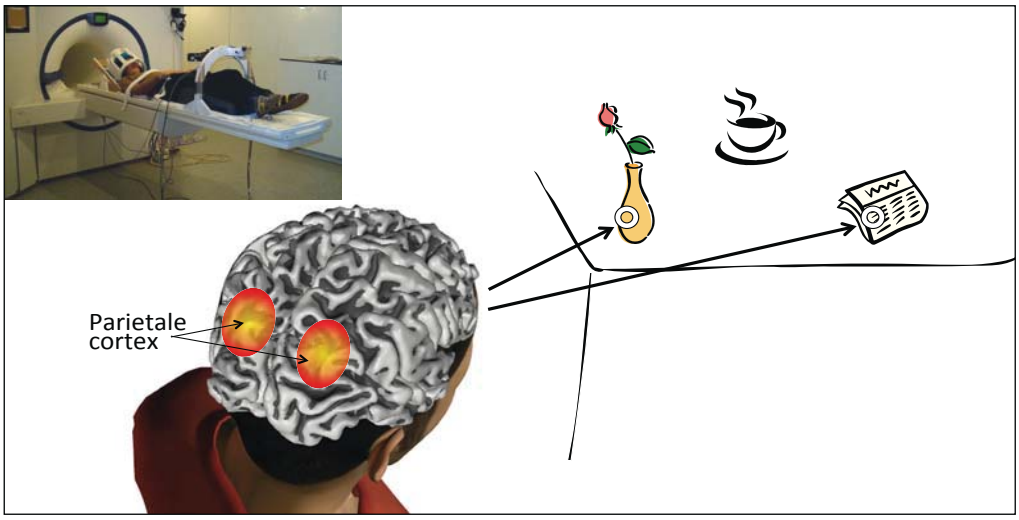
Er is een belangrijk verschil tussen 'normale' oogbewegingen en het bewegen van je oog met behulp van je vinger. Voorin onze hersenen zit een gebiedje dat onze oogspieren aanstuurt. Als dit gebiedje besluit je oog te bewegen, dan stuurt het niet alleen een signaal naar je oogspieren, maar ook een kopie van dit signaal naar de waarnemingsgebieden in de hersenen. Dit andere deel gaat vervolgens, op basis van ervaringen, voorspellen hoe de wereld eruit zal zien nadat de oogbeweging gemaakt is. Na de oogbeweging bepaalt je brein of de voorspelling ongeveer klopt. Als dat zo is, dan ben je niet verrast en zie je nog steeds een stabiele wereld. Het brein stuurt als het ware een e-mail naar de oogspieren en gelijktijdig een cc-tje naar de waarnemingsgebieden om ze te vertellen dat de veranderingen die binnenkomen door het brein zelf veroorzaakt zijn, en niet door de buitenwereld. Op deze manier kunnen de hersenen dus onderscheid maken tussen extern en intern veroorzaakte gebeurtenissen. Bij het met de vinger bewegen van je oog gaat er geen signaal naar je oogspieren; dit is dus een externe gebeurtenis. Er wordt geen kopie verstuurd en dus ook geen voorspelling gemaakt. Je bent verrast en ziet een instabiele wereld.



In analogie met de cc in het e-mail verkeer, maakt het brein een kopie van een motorisch signaal om op de sensorische consequenties van de beweging te anticiperen.

Een gerelateerd voorbeeld is kietelen. We weten allemaal dat we ons zelf niet kunnen kietelen, maar dat we wel gekieteld kunnen worden door anderen. Het brein maakt een voorspelling van de zintuiglijke informatie op basis van de zelf gegenereerde motorische signalen en trekt die af van de daadwerkelijk zintuiglijke informatie; wat overblijft, is extern veroorzaakt. In ons sensorimotor laboratorium proberen wij onder andere uit te zoeken hoe ons brein zo'n voorspelling maakt. Recentelijk hebben we aangetoond dat de pariëtale schors in de hersenen, een gebied vlak onder je kruin, hierbij een belangrijke rol speelt. Het experiment ging in als volgt. Proefpersonen lagen in een fMRI- scanner en keken naar een aantal objecten op een tafel. Door het maken van een oogbeweging tussen het bloemvaasje en de krant schoof het koffiekopje van het ene blikveld naar het andere. Deze verandering van het beeld op het netvlies werd op geanticipeerd door neurale activiteit in de pariëtale schors, die steeds voorspelde waar het kopje gezien zou worden na de oogbeweging, met als resultaat een stabiele waarneming van de objecten.

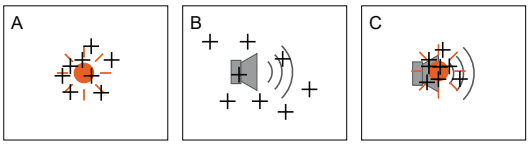
Om door de wereld te kunnen navigeren, moet onze waarneming niet alleen stabiel blijven tijdens oogbewegingen, maar ook tijdens hoofd- en lichaamsbewegingen. Als je in de trein naar buiten kijkt, zie je bomen dichtbij voorbij schieten terwijl het kerkje in de verte op een vaste locatie lijkt te blijven. Dit wordt bewegingsparallax genoemd en is gemakkelijk te demonstreren door eerst de blik te richten op een voorwerp op grote afstand en dan een paar stappen zijwaarts te zetten: de richting van een dichtbij doel verandert veel meer dan die van een ver doel. Als we bijvoorbeeld met onze ogen niet precies naar het object kijken, maar juist ervoor of erachter, dan lijkt het alsof het object meer naar rechts of naar links wordt waargenomen. Dit heeft natuurlijk grote invloed op het reiken en grijpen van deze objecten.



Anticipatie van sensorische consequenties in de pariëtale schors, gemeten met fMRI.

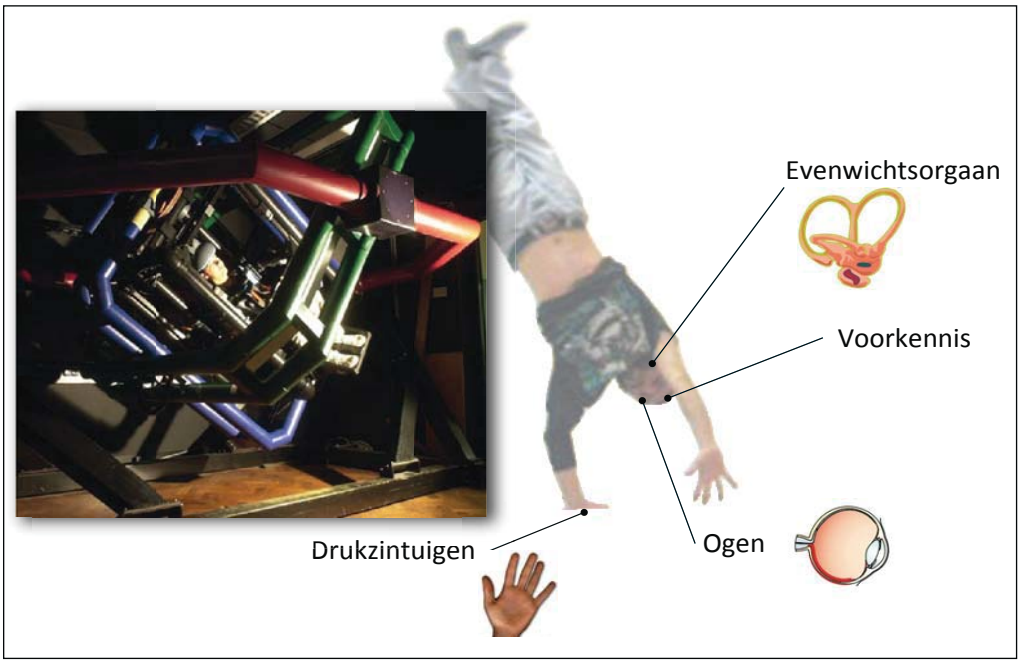
Onderzoek 2. *Bouwen aan vertrouwen*

De koppeling tussen waarnemen en bewegen hangt af van de manier waarop het brein met ruizige signalen omgaat. Uit de stroom van signalen uit verschillende zintuigen, alle ruizig, moet in het brein de waarneming ontstaan. Wanneer bijvoorbeeld iemand spreekt, horen we geluid via onze oren en zien we de gelaatsuitdrukking en beweging van de lippen via onze ogen. De waarneming heeft dus te maken met de integratie en interpretatie van informatie uit meerdere zintuigen (ogen, gehoor, evenwicht, tast, et cetera). Het meest optimaal is dat het brein de signalen die dezelfde informatie bevatten, combineert. De vraag is of de hersenen dit doen. Stel je bijvoorbeeld eens voor dat je meerdere keren moet wijzen naar een lampje op een tafel dat kort geflitst wordt, terwijl je zelf in het donker zit. Afbeelding A toont de eindpunten van verschillende pogingen, aangeven met plusjes. Er is dus wat spreiding in de eindpunten. Deze spreiding is een maat voor de ruis van de signalen die betrokken zijn bij de koppeling van waarnemen en bewegen. Afbeelding B toont de resultaten als er gewezen wordt naar een onzichtbare geluidsbron die een kort piepje geeft. De spreiding in de eindpunten is duidelijk groter dan bij het lampje. Dit betekent dus dat de informatie die via ons gehoor binnenkomt en de wijsbeweging moet aansturen minder betrouwbaar is. Hoe wijzen we als de flits en het piepje gelijktijdig gegeven worden? De hersenen beschikken nu dus over twee soorten signalen (visuele en auditieve), die beide de positie van het doel aangeven. In afbeelding C zien we het resultaat: er is minder spreiding in de eindpunten van de beweging in vergelijking met zowel afbeelding A als B. Dus door het combineren van twee ruizige informatiebronnen bouwt het brein een groter vertrouwen op dan op basis van enkelvoudige bronnen, hetgeen inderdaad het meest optimale is om te doen.



De spreiding in de eindpunten (+) van wijsbewegingen naar een visueel doel (A), een auditief doel (B) en een visueel-auditief doel (C).

Zintuiglijke informatie is echter niet de enige bron van informatie waarmee de hersenen vertrouwen opbouwen. Er is ook een andere vorm van informatie, namelijk eerder opgedane kennis. Dit is informatie die je verzamelt tijdens je leven en die je opslaat in het geheugen. We weten bijvoorbeeld dat het onwaarschijnlijk is dat het in de zomer vriest. Een ander voorbeeld is de interpretatie van de signalen van het evenwichtsorgaan. De meest voorkomende toestand in ons dagelijks leven is dat we rechtop zitten of staan. Dit is de eerder opgedane kennis. Het brein ontvangt de zintuiglijke signalen, niet alleen van het evenwichtsorgaan, maar ook visuele informatie en informatie uit de tastzintuigen in de handen. Daarnaast is er de eerder opgedane kennis. In het laboratorium onderzoeken we dit proces door gebruik te maken van een door elektromotoren aangedreven kantelstoel. Door het precies meten van de waarneming bij verschillende kantelstanden, opgelegd door deze kantelstoel, kunnen we terug redeneren wat de ruizigheid van de verschillende betrokken zintuigen is, maar ook bepalen welke kennis het brein al heeft opgeslagen. In een vervolgstap kunnen we dan berekenen hoe het systeem reageert met een volledig defect zintuig en zo het gedrag van bepaalde patiëntpopulaties, bijvoorbeeld patiënten met een uitgevallen evenwichtsorgaan, nabootsen.



Ruimtelijke oriëntatie is een proces waarbij meerdere zintuigen betrokken zijn. De kantelstoel draait de proefpersoon zijwaarts naar verschillende kantelstanden. De proefpersoon geeft vervolgens een schatting van zijn/haar gevoelde kantelstand of schat de oriëntatie van een visuele lijn voor hem/haar. Uit de metingen kan de betrokken informatie (drukzintuigen, ogen, evenwichtsorgaan en voorkennis) gereconstrueerd worden.

Onderzoek 3. *Kiezen in beweging*

Stel je gaat op de fiets naar school. De ingang van de school is aan de achterkant en als je vlak voor school bent, kun je kiezen: ga je linksom of rechtsom. Linksom is misschien net iets korter, maar er is daar ook een vervelende hond in de buurt, en een smal bruggetje. En wat doe je als er plotseling een tak van een boom voor je fiets valt? Probeer je zo hard mogelijk te remmen? Of spring je snel van je fiets? Met andere woorden, welke keuzes maak je en waarom?

Het meest optimaal is dat het brein een kosten-batenanalyse maakt. Zo zijn oogbewegingen naar interessante objecten of personen sneller dan die naar saaie. Naast de beloning – snel het aantrekkelijke object zien – is het natuurlijk ook zo dat de kosten voor de ene activiteit hoger zijn dan voor de andere. De ene actie kost meer energie dan de andere.

Een bewegingsplatform om waarnemen, keuzes en actie in beweging te onderzoeken.

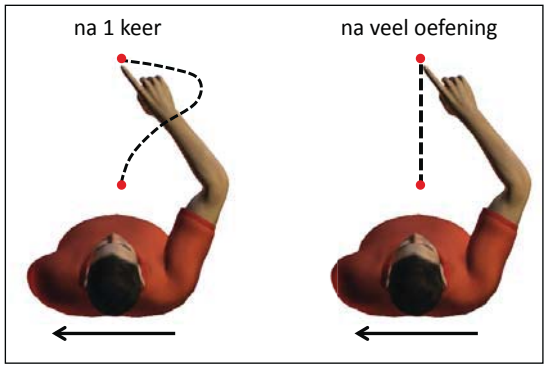
In onze onderzoeksgroep kijken we naar dit soort besluitvorming terwijl mensen in beweging zijn. We zetten mensen op een bewegingsplatform. Op een willekeurig moment verschijnen er twee lampjes. Dan is het ieders taak om zo snel mogelijk naar één van beide lampjes te wijzen. Welk lampje kiezen ze en met welke arm? Wijzen ze met hun voorkeurshand of met de dichtstbijzijnde hand? Het blijkt dat mensen in beweging andere keuzes maken dan wanneer ze stilstaan. Waarom dit zo is, wordt op dit moment onderzocht, maar het lijkt zeker dat waarnemen, beslissen en bewegen niet onafhankelijk bestudeerd kunnen worden.

Onderzoek 4. *Leer van je fouten*

De afstemming tussen waarnemen en bewegen komt niet vanzelf tot stand, maar moet geleerd worden en voortdurend aangepast. Van kleins af aan zijn we daar constant mee bezig. We hebben leren lopen, praten, ballen vangen enzovoort. De bijstelling gaat te allen tijde door, bijvoorbeeld omdat de omgeving verandert, omdat ons lichaam verandert als we groter en zwaarder worden of omdat we een bril zijn gaan dragen. Ook hier speelt optimaliteit weer een rol. Het heeft geen zin om bij elke willekeurige verstoring bij te stellen. Alleen als verstoringen consistent lijken te zijn, moeten we rekening met ze houden. Niet elke hobbel in de weg moet tot ander stuurgedrag leiden, maar met een caravan rijden we wel anders dan zonder. Deze bijstelling of adaptatie is wat we aanduiden met plasticiteit, of aanpassingsvermogen, van het brein. De kleine hersenen – het cerebellum – spelen hierbij een belangrijke rol.
Onderzoekers uit verschillende landen bestuderen hoe je bewegingen het beste kunt leren. Tot nu toe is veel van dit onderzoek naar adaptatie of leerprocessen uitgevoerd in eenvoudige laboratoriumsituaties. Bijvoorbeeld door iemand te leren zijn reikbewegingen aan te passen om een bepaalde weerstand of tegenkracht te compenseren. Wij zijn recentelijk begonnen met het bestuderen van dergelijke leerprocessen in situaties waarbij het hele lichaam een versnellende beweging ondergaat. Een soortelijke ervaring wordt opgedaan wanneer een bus plotseling afremt en passagiers de veiligheidsrail moeten vastgrijpen om zichzelf staande te houden. Onze proefpersonen nemen plaats op een bewegingsplatform en worden gevraagd naar lampjes te reiken. Zodra hun hand beweegt, beweegt ook het platform en ontstaat er een grote afwijking in de reikbeweging. Maar naarmate dezelfde verstoring vaker waargenomen wordt, zal de proefpersoon een steeds rechtere reikbeweging gaan maken. Die afnemende afwijking kunnen we beschrijven in een leerkromme. Hoe kleiner de afwijking is, des te beter kon de proefpersoon met de verstoring door het bewegingsplatform omgaan.

Nieuwe EK bal nog grilliger. Ook Rafael van der Vaart sprak zich uit over de bal: “Niet normaal hoe die bal zwabbert. Daar kun je echt niet aan wennen”, aldus Van der Vaart. Iker Casillas, de doelman van Spanje, ging zelfs zo ver de bal een ‘strandbal’ te noemen.

Wat gebeurt er als we het platform ineens niet meer laten bewegen op het moment van de reikbeweging? Omdat je niet weet dat het platform stil blijft staan, maakt de armbeweging een afwijking in tegengestelde richting. Dit komt doordat je probeert tegen de verwachte beweging van de stoel in te gaan; je compenseert dan dus voor de verwachte beweging van de stoel. Het duurt even voordat je dit gecorrigeerd hebt en weer rechtdoor reikt naar de lampjes. Je moet de geleerde beweging en compensatie weer afleren.

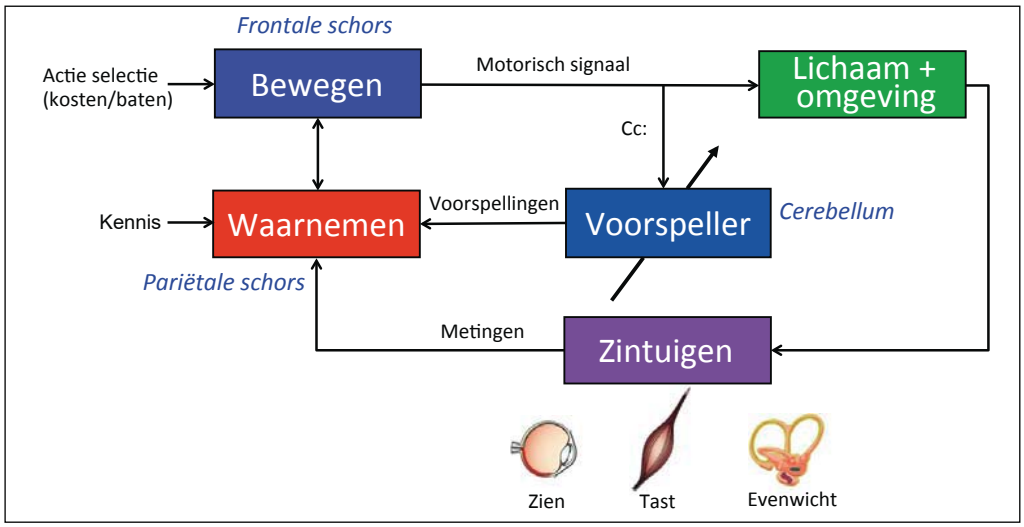


Motorisch leren tijdens lichaamsbewegingen.

Andere vragen die wij proberen te beantwoorden zijn: Leer ik beter door steeds hetzelfde te herhalen in dezelfde omstandigheden? Leer je bijvoorbeeld beter schieten door altijd met dezelfde bal te oefenen, dezelfde afstand tot het doel te nemen en onder dezelfde weersomstandigheden te trainen? Of leer je beter door in verschillende omgevingen te leren, met verschillende ballen, in wind en regen? Ook onderzoeken we of een taak die je met je linkerhand hebt geleerd daarna sneller geleerd wordt met je rechterhand. Op deze manier proberen we de generalisatie van leerprocessen in kaart te brengen, wat uiteindelijk belangrijke praktische consequenties kan hebben voor bijvoorbeeld revalidatie of trainingsmethodieken in sport.

Schema voor onderzoek naar en begrip van de relatie tussen waarnemen en bewegen

De vier besproken onderzoeken hebben we nog eens weergegeven in een schema. In dit schema zijn waarnemen (rode box) en bewegen (blauwe box) direct gekoppeld. De bewegingsmodule bepaalt de signalen naar de spieren: deze veranderen de relatie tussen het lichaam en de omgeving (groene box). Deze veranderingen worden gedetecteerd door de zintuigen (paarse box), die ruizige informatie naar de waarnemingsmodule in de hersenen sturen. De veranderingen worden ook geanticipeerd door de voorspeller (blauwe box) op basis van een kopie van het



signaal (zoals de cc van een e-mail). Voorspellingen worden geleerd en aangepast (aangegeven met de schuine pijl door de blauwe box) als de relatie tussen lichaam en omgeving blijvend anders wordt. De waarnemingsmodule bouwt de meest waarschijnlijke waarneming op basis van de voorspellingen, de werkelijk zintuiglijke informatie (metingen) en eerder opgedane kennis. De waarnemingsmodule voorziet de bewegingsmodule van input, waarbij de actiekeuzes uiteindelijk gebaseerd worden op een kosten-batenanalyse. Belangrijke neurale structuren waarvan wordt gedacht dat die betrokken zijn bij deze processen zijn aangeven in het schema, zoals de pariëtale en frontale cortices en het cerebellum. Dit schema vormt de leidraad voor ons onderzoek. Het gaat uit van optimaliteit en bestudeert daarmee de essentiële kenmerken van de koppeling tussen waarnemen en bewegen, zoals representeren, interpreteren, voorspellen, kiezen en aanpassen.

Een belangrijke uitdaging voor toekomstig onderzoek is dit schema te testen in complexe, dynamische omgevingen, bijvoorbeeld als we zelf met ons hele lichaam in beweging komen en moeten waarnemen en bewegen onder tijdsdruk, zoals op het sportveld of in het verkeer. Dit schema is behulpzaam wanneer we een brug willen slaan naar de kliniek. Het proces van waarnemen en bewegen verandert als we geblesseerd raken tijdens het sporten of als we ouder worden en met ziekte te maken krijgen. Veroudering gaat gepaard met een toename in leeftijdsgerelateerde stoornissen in de waarneming, zoals gezichtsverlies, of evenwichtsstoornissen, verminderde motoriek en een toename van neurodegeneratieve ziekten, zoals de ziekte van Alzheimer en Parkinson. Onderzoek naar de koppeling van waarnemen en bewegen is daarvoor onontbeerlijk.

Vici-subsidie voor neurowetenschapper Pieter Medendorp[2]

Datum bericht: 22 december 2011

Pieter Medendorp, hoogleraar Sensomotorische integratie verbonden aan het Donders Institute van de Radboud Universiteit Nijmegen ontvangt een Vici-subsidie van 1,5 miljoen Euro van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO). Daarmee gaat hij de komende vijf jaar onderzoek doen naar de rol van de hersenen bij het kiezen voor de meest effectieve of efficiënte acties in een onzekere, dynamische omgeving. Medendorp is de vierde Radboudonderzoeker die dit jaar een Vici-subsidie ontvangt.

Waarnemen, bewegen, bewegen

We zijn voortdurend in beweging en voeren tegelijkertijd ook allerlei acties uit. Schijnbaar onbewust anticiperen we op een beweging van ons lichaam, terwijl we tegelijkertijd de veranderende posities van onszelf en die van ons omringende, bewegende mensen of objecten daarbij betrekken. Ook beslissen we om bepaalde objecten te vermijden en de meest effectieve actie uit te voeren, we anticiperen zelfs op de keuzes die we daarna zelf maken. Dit alles gebeurt onbewust en we hebben wonderlijke controlemechanismen die zorgen dat we de juiste beslissingen nemen, of niet.

Voetballen

Pieter Medendorp licht toe: 'Ik vergelijk het vaak met voetballen. Stel je voor je bent Barcelona's spits Lionel Messi en je speelt de finale in de Champion's League. Je bent constant in beweging: dribbelend, sprintend op topsnelheid. Tegelijkertijd houd je de posities van de teamgenoten in de gaten, passeert drie aanvallende tegenstanders die je uit balans proberen te brengen en schiet de bal op het juiste moment, met linker- of rechtervoet en scoort! Dit voorbeeld maakt duidelijk hoe goed mensen zijn in het waarnemen, kiezen en handelen, terwijl ze zelf ook bewegen.'

Vestibulaire slee

Hoe het brein dit regelt, gaat Medendorp de komende vijf jaar verder onderzoeken met een team van vijf medewerkers: twee postdoc's, twee aio's en een technicus. Dat gebeurt met verschillende technieken in het Donders Sensorimotorlab (www.sensorimotorlab.com). Zo nemen proefpersonen plaats in een vestibulaire slee - een slee die beweegt en je evenwicht verstoort - waarna er verschillende krachten op hen worden uitgeoefend terwijl ze in beweging zijn. Tegelijkertijd krijgen ze visuele of andere sensorische informatie, die soms past in een beweging, maar soms ook tegennatuurlijk is. Hierbij worden bewegingen van ogen, armen, handen en benen gemeten in verschillende condities.

TMS

'We zijn geïnteresseerd in wat er gebeurt in de sensomotorische gebieden van het brein. Deze zijn betrokken bij de voorbereiding van de beslissing om tot actie over te gaan,' vertelt Medendorp. 'Dat is geen statisch proces, maar een voortdurend actief netwerk, dat we in kaart willen brengen door meting met Electro-encefalographie (EEG). Daarnaast gaan we knooppunten manipuleren met TMS.' TMS (Transcraniële Magnetische Stimulatie) is een methode waarmee tijdelijk delen van het brein kunnen worden uitgeschakeld. 'Door systematisch bepaalde verbindingen te manipuleren en die te koppelen aan de voorbereiding van een actie, hopen we erachter te komen hoe het brein keuzes maakt voor een beweging, maar ook anticipeert op de keuzes die we maken.

Ook een ERC

Eerder dit jaar ontving Pieter Medendorp ook al een Europese Starting Grant van anderhalf miljoen euro. Dat onderzoek is gericht op taakuitvoering en gaat over de rol van sensorische, motorische en cognitieve signalen terwijl we in beweging zijn.

Verwijzingen

(1) Yarbus, A. L., 'Eye movements during perception of complex objects', In: Eye Movements and Vision, Riggs, L. A. (Ed.), *pp. 171–196, Plenum Press*, New York, 1967.
(2) Radboud Universiteit Nijmegen, Vici-subsidie voor neurowetenschapper Pieter Medendorp, http://www.ru.nl/@834967/pagina/ (21-6-2013)

Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit Nijmegen (WKRU)

Dit boek is een uitgave van het Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit Nijmegen (WKRU). Het WKRU is een knooppunt tussen leraren en kinderen van het basis- en voortgezet onderwijs, onderzoekers van de Radboud Universiteit (RU) en docenten en pabo-studenten van de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen (HAN).

Missie

Het WKRU heeft tot doel de relatie tussen de RU en het basis- en voortgezet onderwijs verder te versterken en te komen tot een betere afstemming tussen vraag en aanbod van wetenschappelijke kennis voor het onderwijs. Hiermee wil het WKRU de houding van leerlingen en (toekomstige) leraren ten opzichte van wetenschap en technologie positief beïnvloeden en hun onderzoekende houding stimuleren. Daarnaast wil het WKRU onderzoekers van de RU een podium geven om hun wetenschappelijke resultaten en de implicaties daarvan ten toon te kunnen spreiden aan een breed publiek.

Activiteiten

Het WKRU heeft een gevarieerd palet van activiteiten waaronder: jaarlijkse nascholingsdagen wetenschapseducatie voor pabo-studenten en leraren basis onderwijs (Winterschool), samenwerking in projectteams tussen wetenschappers, pabo-studenten en leraren waarbij een wetenschappelijk onderwerp vertaald wordt naar een project rondom onderzoeksactiviteiten, kinderlezingen (Mystery X), cursussen voor jonge onderzoeker hoe ze hun onderwerp toegankelijk kunnen maken voor kinderen (Onderzoeker in de klas), professionaliseringscursus onderzoekend leren, studiedagen voor docenten uit het voortgezet-onderwijs… en nog veel meer (zie www.wkru.nl).

Organisatie

De organisatie van het Wetenschapsknooppunt bestaat uit vier medewerkers en een stuurgroep. In de stuurgroep zijn verschillende partijen die samenwerken binnen het Wetenschapsknooppunt vertegenwoordigd. De stuurgroep stippelt in samenwerking met de medewerkers het beleid uit en bewaakt op hoofdlijnen de voortgang.

Het uitvoerende deel van het WKRU bestaat uit de volgende medewerkers:

- Dr. Marieke Peeters, projectleider;
- Winnie Meijer MSc (tot 1-11-2013) & drs. Jan van Baren-Nawrocka (per 1-11-2013), projectmedewerkers;
- Drs. Martina van Uum, onderzoeker;
- Elke Jacobs, communicatiemedewerker.

De stuurgroep bestaat uit:

- Prof. dr. Carl Figdor, hoogleraar Immunologie in het Nijmegen Centre for Molecular Life Sciences van het Radboudumc en initiator WKRU.;
- Prof. dr. Ludo Verhoeven, hoogleraar Orthopedagogiek aan de Radboud Universiteit en wetenschappelijk directeur van het Expertisecentrum Nederlands;
- Drs. Karin van Weegen, voorzitter van de instituutsdirectie van de HAN Pabo's (Pabo Groenewoud Nijmegen en Pabo Arnhem);
- Dr. Roald Verhoeff, universitair docent bij het Institute for Science, Innovation and Society van de Radboud Universiteit.

platform Bèta Techniek

KONINKLIJKE NEDERLANDSE AKADEMIE VAN WETENSCHAPPEN

Radboud Universiteit Nijmegen

Radboudumc

Hogeschool van Arnhem en Nijmegen

NCMLS

Institute for Science, Innovation and Society

Radboud University Nijmegen

BSI

Behavioural Science Institute

iMM

Institute for Molecules and Materials

Donders Institute for Brain, Cognition and Behaviour

Faculteit der Letteren

Foto- en illustratieverantwoording

Tenzij anders vermeld zijn de foto's in deze uitgave gemaakt door het Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit. ©WKRU, december 2013

Andrey Kuzmin / 123RF Stockfoto	p. 155
Anilinn / 123RF Stockfoto	p. 88 (Ouders)
Annavee / 123RF Stockfoto	p. 154 (Baruch Spinoza)
Arindambanerjee / 123RF Stockfoto	p. 152
Dick van Aalst	p. 36 en 160
Erik van 't Hullenaar	p. 92
Filipw / 123RF Stockfoto	p. 158 en 168 (hooibalen)
Goldenkb / 123RF Stockfoto	p. 88 (Rookvrije kids)
Hriana / 123RF Stockfoto	p. 138 (Zeg nee tegen sigaretten)
Katatonia / 123RF Stockfoto	p. 42
Lacamerachiara / 123RF Stockfoto	p. 90
Lawren / 123RF Stockfoto	p. 157
Michaeljung / 123RF Stockfoto	p. 96
Pampalini / 123RF Stockfoto	p. 158 en 168 (ezel)
Sparkstudio / 123RF Stockfoto	p. 154 (Gevaarlijke ideeën)
Stockbksts / 123RF Stockfoto	p. 138 (Tabak)
Stockbroker / 123RF Stockfoto	p. 82
Trimbos-instituut	p. 87
Willie Kerkhof – www.siimple.nl	p. 75, 159 en 100
Toestemming voor plaatsen zonder naamsvermelding	p. 34, 35, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 54 (Hoe neuronen informatie verwerken in het brein), 55, 84, 85, 102, 131 en 153