

BISTABIELE WAARNEMING

Hoe het brein telkens weer opnieuw bepaalt wat u te zien krijgt.

Door Barbara Nordhjem

Kijkt u eens naar de tekeningen op pagina 82. Ziet u ze veranderen? Figuren als de hier afgedrukte, algemeen bekende Necker-kubus en Rubin-vaas kunnen op twee verschillende manieren worden waargenomen. Wanneer je ernaar kijkt, switchen ze spontaan heen en weer tussen twee voorstellingen. Meestal blijft de ene interpretatie een tijdje stabiel voor ze weer 'omklapt' naar de andere. Omdat we deze figuren op twee verschillende manieren kunnen zien, worden ze 'bistabiel' genoemd. Als een zintuiglijke prikkel zo ambigu is dat hij meer dan twee interpretaties toelaat, heet hij 'multistabiel'.

De Necker-kubus is een van de meest klassieke voorbeelden van een bistabiele figuur. Het ene moment lijkt hij naar boven te wijzen, het volgende moment naar beneden. Met enige oefening kunt u de vaardigheid ontwikkelen om dit soort figuren naar believen op de ene of de andere manier te zien, maar ze klappen ook om zonder dat u er moeite voor doet. Dat roept de vraag op waarom ons brein niet gewoon een van beide interpretaties kiest en daaraan vasthoudt. Het meest directe antwoord is dat de ene interpretatie niet juister of legitiemer is dan de andere. Bij gebrek aan een definitieve oplossing worden de hersenen

onophoudelijk heen en weer geslingerd tussen de twee mogelijke opties. In sommige gevallen heeft het brein wel een zekere voorkeur: bij de Schröder-trap zien de meeste mensen aanvankelijk een 'gewone' trap waar je op kunt lopen – totdat hij omklapt en ondersteboven lijkt te hangen.

Een van de redenen waarom ik het verschijnsel van de bistabiele waarneming zo fascinerend vind, is dat deze optische illusies aantonen dat zien veel meer is dan simpelweg een directe ervaring van visuele prikkels die in de hersenen worden geprojecteerd. Zien is een complex proces: het is ook een kwestie van betekenis toekennen aan de wereld om ons heen. Stel dat we de diverse visuele ervaringen die een mens kan hebben afzetten op een glijdende schaal. Aan het ene uiteinde liggen dan de ervaringen waarbij

uw waarneming volledig correspondeert met de visuele prikkels die voor uw ogen aanwezig zijn. Aan het andere uiteinde van de schaal liggen de hallucinaties, waarbij er vrijwel geen enkele relatie meer bestaat tussen de ervaring en werkelijk bestaande visuele prikkels. Ergens tussen die beide uitersten ligt het domein van de ambiguïteit, waar optische illusies deel van uitmaken. Hoe we zo'n ambigue figuur waarnemen, hangt zowel af van de fysieke visuele prikkels zelf als van de manier waarop die in uw hersenen worden geïnterpreteerd. Ambiguïteit beperkt zich niet tot de bistabiele waarneming, maar ook in de meeste andere gevallen is er eerst een periode van onzekerheid, gevolgd door een oplossing. Als u bijvoorbeeld in de verte iemand ziet lopen, duurt het even voor u een idee hebt wie het

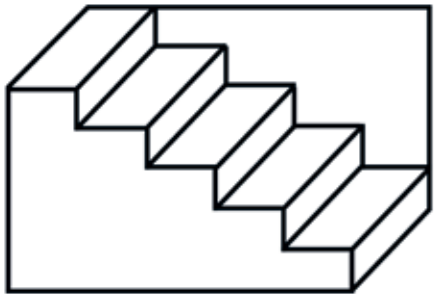
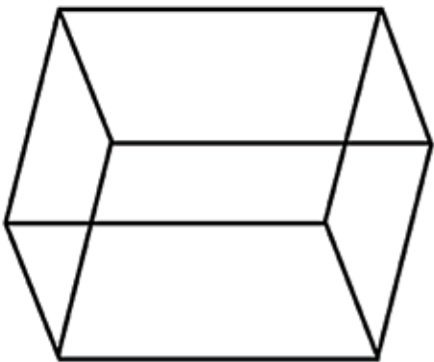


is, en vervolgens moet u nog wat beter kijken om u ervan te vergewissen dat het inderdaad die bekende persoon is. In het geval van echte bistabele figuren komt er nooit een oplossing: de ene interpretatie zal nooit correcter zijn dan de andere – het zijn letterlijk visuele breinbrekers.

DE FILM OPNIEUW AFSPLEEN

Ik heb dit onderzoek uitgevoerd aan University College in Londen, samen met de Italiaanse promovenda Fiammetta Ghedini. Wat ons het meest intrigeerde met betrekking tot de bistabele waarneming was de vraag welke hersengebieden verantwoordelijk zijn voor het ‘omklappen’ van de bistabele figuren. Om daar achter te komen, registreerden we de hersenactiviteit van proefpersonen met behulp van een fMRI-scanner. Verscheidene onderzoekers hebben al eerder opnamen gemaakt van de hersenactiviteit van mensen die naar een bistabele illusie keken, maar wij hebben ons onderzoek een beetje anders aangepakt. Om te beginnen bestaan er nog vrijwel geen fMRI-studies waarbij veel verschillende bistabele figuren worden gebruikt. De meeste onderzoekers beperken zich tot slechts enkele welbekende optische illusies. Ten tweede is het altijd lastig iets te verzinnen waar je de bistabele waarneming mee kunt vergelijken. Bij fMRI-onderzoek is het van cruciaal belang dat je een goede controlesituatie hebt waarmee je het te onderzoeken fenomeen kunt vergelijken. We besloten om bij wijze van vergelijkingsmateriaal eenduidige figuren te tekenen die er hetzelfde uitzagen als de twee interpretaties van de bistabele figuren. In totaal gebruikten we bij ons onderzoek tien verschillende bistabele figuren, elk met de twee bijbehorende stabiele figuren.

We gebruikten de bistabele en stabiele figuren op een manier die nog niet eerder is toegepast bij een fMRI-onderzoek naar bistabele waarneming. Neem bijvoorbeeld de figuur die zowel een indiaan als een eskimo kan voorstellen (pagina 83). Telkens wanneer de proefpersoon de indiaan zag, moest hij op een knop drukken, en als hij de eskimo zag op een andere knop. Aan de hand van deze data maakten we een film die liet zien hoe de proefpersoon de bistabele figuur had waargenomen. In deze opname wisselden de twee stabiele versies van de bistabele figuur elkaar af, in hetzelfde tempo als waarin de proefpersoon de bistabele figuur had zien switchen: indiaan-eskimo-indiaan-eskimo. Telkens wanneer in de film een nieuw beeld verscheen, moest de proefpersoon weer op een van beide knoppen drukken. Uiteraard ziet ieder mens bistabele figuren anders.



Klassieke voorbeelden van bistabele beelden. Van boven naar onder: de Rubin-vaas, de Necker-kubus en de Schröder-trap.

Daarom werd voor elke proefpersoon afzonderlijk een eigen filmpje vertoond, terwijl hij in de scanner lag. Wat is nu het verschil tussen kijken naar een bistabele figuur en kijken naar twee stabiele figuren die elkaar afwisselen? In het eerste geval is er één figuur, maar de waarneming ervan switcht tussen twee interpretaties. Bij het kijken naar de film zijn er twee stabiele figuren die elkaar voor de ogen van de proefpersoon afwisselen op dezelfde manier als de waarneming van de bistabele illusie voor zijn ‘geestesoog’ veranderde. Dit experiment stelde ons in staat de reactie van de hersenen op een bistabele figuur die in de geest van de proefpersoon telkens omklapt te vergelijken met de reactie op stabiele beelden die elkaar fysiek afwisselen. Anders gezegd: we konden het verschil bekijken tussen intern en extern geëneerde veranderingen in de waarneming.

EEN KUBUS IS EEN KUBUS IS EEN KUBUS...

Fiammetta Ghedini en ik voerden dit onderzoek uit in het laboratorium van Semir Zeki, een van de pioniers op het gebied van de visuele waarneming. Tijdens de beginfase van ons project zaten we tussen stapels boeken met optische illusies en handleidingen over hoe je een onderzoek met hersenscans moet opzetten. Om de verwarring nog groter te maken, kwam professor Zeki onze werkkamer binnenlopen, zwaaide met zijn wandelstok met zilveren knop en zei: “Een kubus is een kubus is een kubus, maar een gezicht is geen vaas”, waarna hij weer vertrok. Deze woorden waren voor ons net zo mysterieus als de illusies die we wilden bestuderen.

We probeerden de uitspraak van Zeki in verband te brengen met bekende onderzoeksresultaten over de werking van het brein. Er zijn hersengebieden die selectief reageren op specifieke soorten prikkels. Zo is er bijvoorbeeld het zogeheten fusiforme (spoolvormige) aangezichtsgebied – beter bekend onder de Engelse naam *fusiform face area* (FFA) – dat in actie komt wanneer we naar een gezicht kijken. Het interessante aan visueel selectieve hersengebieden als de FFA is dat ze ook geactiveerd worden wanneer we naar een bistabele figuur als de Rubin-vaas kijken en het silhouet van de twee gezichten zien. Kennelijk reageren gespecialiseerde hersengebieden als de FFA niet alleen wanneer we een echt gezicht voor ons hebben, maar ook wanneer we alleen maar de perceptuele ervaring hebben dat we een gezicht zien. Iets vergelijkbaars doet zich voor in een ander hersengebied bij het kijken naar voorwerpen. Het is dus heel



Indiaan-eskimo



Eskimo



Indiaan

De bistabele afbeelding die afwisselend een indiaan en een eskimo voorstelt, gevolgd door de stabiele versies die gebruikt werden voor het experiment.

waarschijnlijk dat, wanneer we de Rubin-vaas zien veranderen in twee gezichten en vice versa, de activiteit in de hersenen ook fluctueert tussen twee verschillende gebieden.

Er is een verschil tussen figuren als de Necker-kubus en figuren als de Rubin-vaas: een kubus is een kubus, hoe je hem ook ronddraait. Het blijft een kubus, maar dan gezien vanuit een ander perspectief. Wij waren geïnteresseerd in het verschil tussen figuren als de Rubin-vaas, die twee beelden opleveren die tot verschillende ca-

zaak simpel te houden en vergelijkingen mogelijk te maken, kozen we alle twee-categorieënfiguren zodanig dat ze ofwel als een gezicht, ofwel als een compleet lichaam geïnterpreteerd konden worden. Een voorbeeld van de twee-categorieënfiguren is de al eerder genoemde indiaan-eskimo combinatie, een voorbeeld van de één-categorie-figuur ziet u in de drie afbeeldingen op pagina 84. Het is denkbaar dat het ene type een totaal andere vorm van hersenactiviteit teweegbrengt dan het andere. Dit was het eerste fMRI-experiment waarbij het moge-

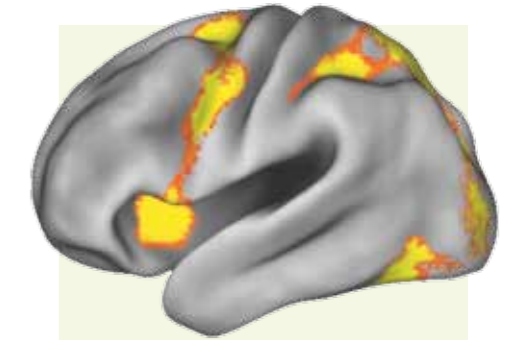
Zien is niet simpelweg de directe ervaring van visuele prikkels, maar een complex proces waarbij het brein betekenis probeert toe te kennen aan de wereld om ons heen

tegorieën behoren (bv. een vaas en een gezicht), en figuren als de Necker-kubus, die weliswaar nu eens naar voren lijken te wijzen en dan weer naar achteren, maar hetzelfde voorwerp blijven. Daarom maakten we in ons experiment onderscheid tussen twee types bistabele figuren. Geometrische figuren als de Necker-kubus, waarbij wel het perspectief verandert maar het voorwerp hetzelfde blijft, noemden we ‘één-categoriefiguren’. Figuren als de Rubin-vaas, waarbij we objecten zien die tot verschillende categorieën behoren, noemden we ‘twee-categorieënfiguren’. Om de

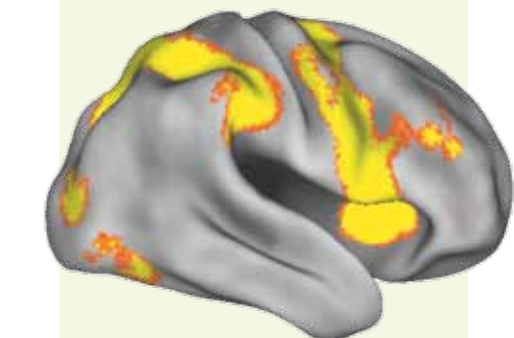
lijk was de activiteit van het brein te vergelijken bij het waarnemen van verschillende typen bistabele figuren, dus we waren heel benieuwd naar het resultaat.

SYMMETRISCH NETWERK

Om te beginnen vergeleken we de waarneming van spontaan ‘omklappende’ bistabele figuren met de reactie op de filmpjes waarin stabiele figuren elkaar werkelijk afwisselden. Op die manier hoopten we hersengebieden te kunnen lokaliseren die specifiek betrokken zijn bij de bistabele waarneming. De afwisseling tussen twee



linker hersenhelft



rechter hersenhelft

Toename in de activering van hersengebieden bij bistabele waarneming, in contrast met de filmpjes waarin beide stabiele figuren worden getoond.

beelden bij het kijken naar een bistabiele figuur is het gevolg van veranderingen in het hoofd van de waarnemer, terwijl de afwisseling van de beelden in de film wordt veroorzaakt door veranderingen in de externe visuele prikkels. Uit onze onderzoeksresultaten bleek dat bij de bistabiele waarneming niet slechts één hersengebied is betrokken, maar verscheidene – zowel in de linker als in de rechter hersenhelft. Er zijn al eerder hersenscans gemaakt van proefpersonen die naar bistabiele figuren keken, maar tot op heden zagen de onderzoekers daarbij alleen activiteit in de rechterkant van het brein. Wij constateerden voornamelijk activiteit in de frontale en de pariëtale cortex (pagina 83). Dit zijn hersengebieden die ook actief zijn wanneer u uw aandacht ergens op richt zonder er echt naar te kijken. Deze vorm van ‘aandachtsverschuiving’ is te vergelijken met een situatie waarin u bijvoorbeeld naar uw computerscherm kijkt, maar ondertussen eigenlijk gespitst bent op dingen die zich elders in de kamer afspelen.

Vermoedelijk zijn er verscheidene processen gaande wanneer iemand naar een bistabiele figuur kijkt. Het brein moet tot het besef komen dat het mogelijk is de visuele input op twee manieren te interpreteren, een van beide interpretaties kiezen en de andere negeren, en vervolgens zijn focus verplaatsen naar de andere interpretatie. Mogelijk houden de frontale en pariëtale gebieden op verschillende plaatsen in de hersenen zich over het algemeen bezig met het telkens opnieuw analyseren van de figuren. Uit ons onderzoek blijkt dat de visuele waarneming een interpretatief proces is: het brein zoekt naar mogelijke interpretaties van de figuren. Dit proces beperkt zich niet exclusief tot de bistabiele waarneming – we worden in het dagelijks leven voortdurend geconfronteerd met ambiguïteit. Er bestaat niet altijd één en

kele correcte manier om bepaalde prikkels te interpreteren. Meestal zijn er meerdere plausible mogelijkheden. Over het algemeen kunnen we waarschijnlijk stellen dat bij veranderingen die het gevolg zijn van interne processen in ons brein (en dus niet veroorzaakt worden door externe factoren) diverse, soms ver uiteenliggende hersengebieden betrokken zijn. Ik denk dat de eerder genoemde frontale en pariëtale gebieden een belangrijke rol spelen wanneer we de wereld van visuele patronen en

als de Necker-kubus) een ander soort taak is dan kijken naar twee-categorieëfiguren (zoals de indiaan-eskimo). We hadden verwacht dat de twee-categorieëfiguren met een gezicht en een lichaam hersengebieden zouden activeren die een rol spelen bij het waarnemen van gezichten en lichamen, terwijl het kijken naar de geometrische figuren gepaard zou gaan met activiteit in hersengebieden die over het algemeen betrokken zijn bij het waarnemen van voorwerpen. Inderdaad bleken gebieden die een

In het dagelijks leven worden we voortdurend geconfronteerd met ambiguïteit die om een oplossing vraagt. In het geval van bistabiele figuren wordt de ambiguïteit nooit definitief opgelost

verschillende opties om ons heen interpreteren. Vermoedelijk bestaat er een netwerk van hersengebieden die zich bezighouden met het constant opnieuw analyseren van zintuiglijke prikkels en verschillende mogelijke oplossingen uitproberen.

CATEGORISERING EN ROTATIE

U herinnert zich waarschijnlijk nog wel dat we onderscheid hebben gemaakt tussen twee types bistabiele figuren. We wilden onderzoeken of de hersenen een andere vorm van activiteit vertonen bij de één-categoriefiguren dan bij de twee-categorieëfiguren. Met behulp van de fMRI-scans konden we zien welke hersengebieden specifiek actief zijn wanneer iemand naar verschillende types bistabiele figuren kijkt. Uit de onderzoeksresultaten bleek dat kijken naar één-categoriefiguren (zo-

rol spelen bij het waarnemen van gezichten en omringende hersengebieden duidelijk betrokken te zijn bij het waarnemen van twee-categorieëfiguren. Maar toen we naar de één-categoriefiguren keken, gebeurde er iets verrassends. We registreerden geen bijzondere activiteit in een gebied dat betrokken is bij het waarnemen van voorwerpen, maar wel in een veel hoger gelegen gebied, de pariëtale kwab (wandbeenkwab) bovenin het achterhoofd. Dit gebied stelt ons in staat te navigeren in de ruimte. Als u bijvoorbeeld het kopje koffie dat voor u op tafel staat wilt pakken, hebt u de pariëtale kwab nodig om te weten hoe ver u uw arm moet uitstrekken. Verder is bekend dat dit gebied een rol speelt wanneer we in gedachten een voorwerp roteren. Als u zich probeert voor te stellen hoe een voorwerp eruitziet wanneer u het

onder een bepaalde hoek draait, komt de pariëtale kwab in actie (paars gebied op afbeelding pagina 85).

Er bestaat een gezaghebbende theorie die zegt dat de verwerking van visuele prikkels via twee verschillende routes in de hersenen kan verlopen. Volgens dit tweesporenmodel kunnen signalen, nadat ze de primaire visuele cortex achter in het hoofd hebben verlaten, kiezen uit twee routes. Eerst is er een dorsale route (dorsaal betekent ‘aan de rugzijde’) – die uitkomt in de pariëtale kwabben en die van belang is voor het lokaliseren van objecten in de ruimte en het aansturen van handelingen. De ventrale route (ventraal betekent ‘aan de buikzijde’) voert naar de temporale kwabben en speelt een rol bij de visuele herkenning. De dorsale route wordt ook wel de ‘hoe-route’ of de ‘waar-route’ genoemd en de ventrale de ‘wat-route’.

Wanneer onze proefpersonen naar twee-categorieëfiguren keken, was er duidelijk meer activiteit langs de ventrale route. Kennelijk zijn mensen constant bezig de dingen die ze zien in categorieën onder te brengen. Het is denkbaar dat het brein de geometrische één-categoriefiguren interpreteert als in wezen een en dezelfde figuur, maar telkens vanuit een ander perspectief gezien. Daarom gaat het kijken naar de geometrische figuren gepaard met hersenactiviteit via de ‘waar’-route. Het lijkt erop dat, wanneer er sprake is van bistabiele waarneming in het algemeen, er over het geheel genomen meer activiteit is in de meer verschillende hersengebieden, en dat sommige patronen van hersenactiviteit specifiek betrokken zijn bij het zien van bepaalde types figuren. Wellicht is er een voortdurende interactie tussen lokale hersengebieden die zijn gespecialiseerd in een specifieke vorm van informatieverwerking en andere gebieden die meer algemene functies vervullen.

AMBIGUÏTEIT IS OVERAL

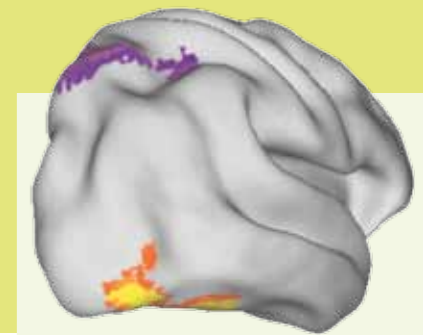
Als u op uw rug in het gras ligt en naar de lucht kijkt, ziet u het ene moment een wolk met een gezicht, en even later komt er eigenaardige wolk voorbijrijden die wel iets van een dinosaurus heeft. In een donkere nacht, terwijl de storm om het huis giert, ziet u soms een schaduw op het behang die lijkt op een hand met lange, benige vingers. En zo zijn er tal van situaties waarin we worden geconfronteerd met ambiguïteit. Om wijs te raken in de wereld om ons heen, zijn we wel genoodzaakt de dingen in te delen in categorieën. Maar aan de andere kant is het kennelijk ook van belang dat we een open instelling hebben en niet simpelweg voor één interpretatie kiezen en

daar hardnekkig aan vasthouden. Zien is tot op zekere hoogte een kwestie van opties: we kunnen de kubus vanuit een ander perspectief zien, die schaduw op de muur zou kunnen betekenen dat iemand u van achteren probeert aan te vallen. Enerzijds moeten we ons een oordeel vormen over wat we zien, maar tegelijkertijd mogen we ook niet halsstarrig aan één bepaalde interpretatie vasthouden. Alert zijn en voortdurend vraagtekens zetten bij de dingen om ons heen kan heel nuttig zijn.

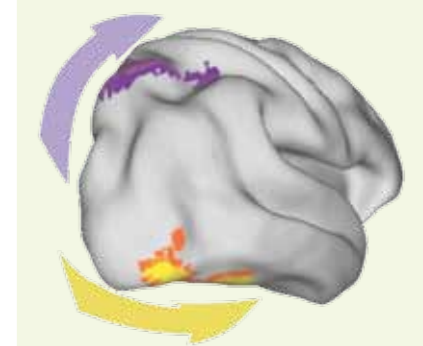
De resultaten van dit onderzoek tonen aan dat er in ons brein zowel sprake is van een meer globaal netwerk dat zich bezighoudt met de bistabiele waarneming in het algemeen als van hersengebieden die gespecialiseerd zijn in een bepaald type figuren. We hebben onderzocht hoe het brein twee soorten ambigue prikkels verwerkt. De geometrische één-categoriefiguren doen een beroep op een hersengebied dat verantwoordelijk is voor de ruimtelijke waarneming en voor het in gedachten roteren van voorwerpen. De twee-categorieëfiguren, die ofwel als een gezicht ofwel als een lichaam kunnen worden opgevat, activeren hersengebieden die een rol spelen bij de visuele herkenning en het indelen in categorieën.

Ambiguïteit doet zich niet allen voor bij de simpele bistabiele figuren die we in dit artikel hebben behandeld, maar ook in situaties waarin er meer dan twee interpretaties mogelijk zijn. U ziet op straat bijvoorbeeld iemand lopen met een mysterieuze blik in zijn ogen, en u vraagt zich af waar die persoon aan denkt. Of u staat voor een kunstwerk waarvan de betekenis niet onmiddellijk evident is. U weet uit ervaring dat het onmogelijk is een voorwerp tegelijkertijd vanuit twee verschillende hoeken te zien, maar uw brein is flexibel genoeg om heen en weer te switchen tussen de beide perspectieven. In het geval van nog complexere ambiguïteiten zijn er niet twee, maar een veelheid van mogelijke interpretaties. In zo’n geval hoeft de ene interpretatie niet noodzakelijkerwijs alle andere uit te sluiten. Als we zien dat iemand vrolijk is, is het heel wel mogelijk dat hij tegelijkertijd in de war is.

Het is eigenlijk heel wonderlijk dat we in staat zijn onze omgeving op zoveel verschillende manieren waar te nemen en vanuit zoveel verschillende perspectieven. Vraagtekens zetten bij wat we zien en zoeken naar meerdere mogelijkheden, is kennelijk een intrinsiek onderdeel van ons waarnemingssysteem. En dat speelt op allerlei niveaus, van simpele tekeningetjes die nu eens naar voren en dan weer naar achteren lijken te wijzen tot emotionele ge-laaitsuitdrukkingen. ■

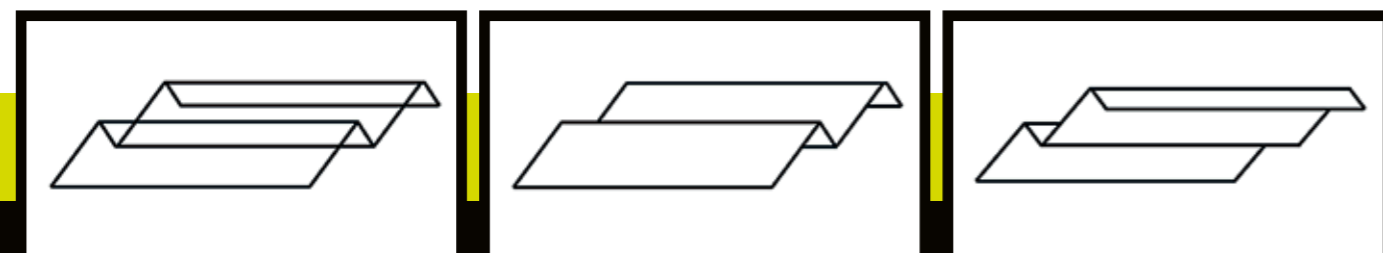


selectief geactiveerd



dorsale en ventrale stroom

Deze afbeeldingen tonen de hersengebieden die selectief geactiveerd worden bij bistabiele één-categoriefiguren (paars) en bij twee-categorieëfiguren (geel). De pijlen illustreren de ‘waar’- (dorsaal, paars) en de ‘wat-route’ (ventraal, geel).



Gevouwen-bistabiel

Gevouwen-stabiel 1

Gevouwen-stabiel 2

Een bistabiele één-categoriefiguur en de beide stabiele versies die gebruikt zijn voor het filmpje in het experiment.

INFO

Dit artikel is geschreven in het kader van de *Annual Dutch MSc Thesis Award for Cognitive Neurosciences*, die **BARBARA NORDJEM** in 2011 als eerste laureaat bekroonde.

De prestigieuze onderscheiding is in het leven geroepen door professor **RUUD MEULENBROEK** van het *Donders Institute for Brain, Cognition and Behaviour* aan de Radboud Universiteit Nijmegen.

Voor de prijs hebben acht Nederlandse universiteiten met een opleiding cognitive neuroscience elk een thesis genomineerd. De winnaar ontvangt 1.000 euro en de mogelijkheid om te publiceren in *Psyche & Brein*, *Scientific American*, blogs en *EOS Magazine*.