

Bevrijd door de computer

Volledig verlamde mensen zijn over enkele jaren niet meer veroordeeld tot eeuwig stilzwijgen en -zitten. Met een Brain-Computer Interface kunnen ze weer praten en kunstmatige ledematen besturen.

Door Erik ARENDS

Bedusd knippert Jean-Do met zijn ogen. Langzaam herkent hij de contouren van een ziekenhuiskamer. Een arts staat naast zijn bed en vraagt of hij weet wat er is gebeurd. Jean-Do probeert antwoord te geven, maar zijn woorden lijken niet aan te komen. Zei hij wel iets? En waarom kan hij zijn lichaam niet bewegen?

Dit lijkt het goede moment om wakker te worden uit een nare droom, maar het is geen nachtmerrie. Het is de beginscène van *The Diving Bell and the Butterfly*, de verfilming van een waargebeurd verhaal. Hoofdpersoon Jean-Dominique Bauby heeft een beroerte gehad en is volledig verlamd. Hij is wel bij volle bewustzijn en zit gevangen in zijn eigen lichaam. Alleen met zijn ogen kan hij nog communiceren. Door te knippen naar zijn logopediste spelt hij woorden en zo schrijft hij het boek waar de film op is gebaseerd. Bij Rom Houben, de Belgische patiënt die wereldberoemd werd toen hij na 23 jaar 'in coma' toch bij bewustzijn bleek te zijn, gebeurde de communicatie via een assistente die zijn hand vasthield boven een toetsenbord. Achteraf bleek echter dat zij onbewust de communicatie 'stuurde'.

Deze moeizame communicatie zou een stuk soepeler, én objectiever, verlopen voor pati-

enten met het locked-in-syndroom als ze met hun gedachten een computer kunnen aansturen. De ontwikkeling van zo'n Brain-Computer Interface (BCI) is in volle gang. Interactie tussen het brein en apparatuur is mogelijk dankzij de hersengolven die we uitzenden. We controleren ons lichaam en denken na door middel van vele kleine stroompjes die in onze hersenen lopen. Zoals bij elke vorm van

mentale taken uit met een muts op vol met sensoren. Op commando stelt ze zich een bepaalde beweging voor, terwijl Severens op een monitor de hersenactiviteit bekijkt die elke sensor registreert. Af en toe is er ineens een scherpe piek te zien in de grafiekjes. Severens: 'Dat komt doordat kleine bewegingen van de gezichtsspieren de hersengolven overstemmen.'

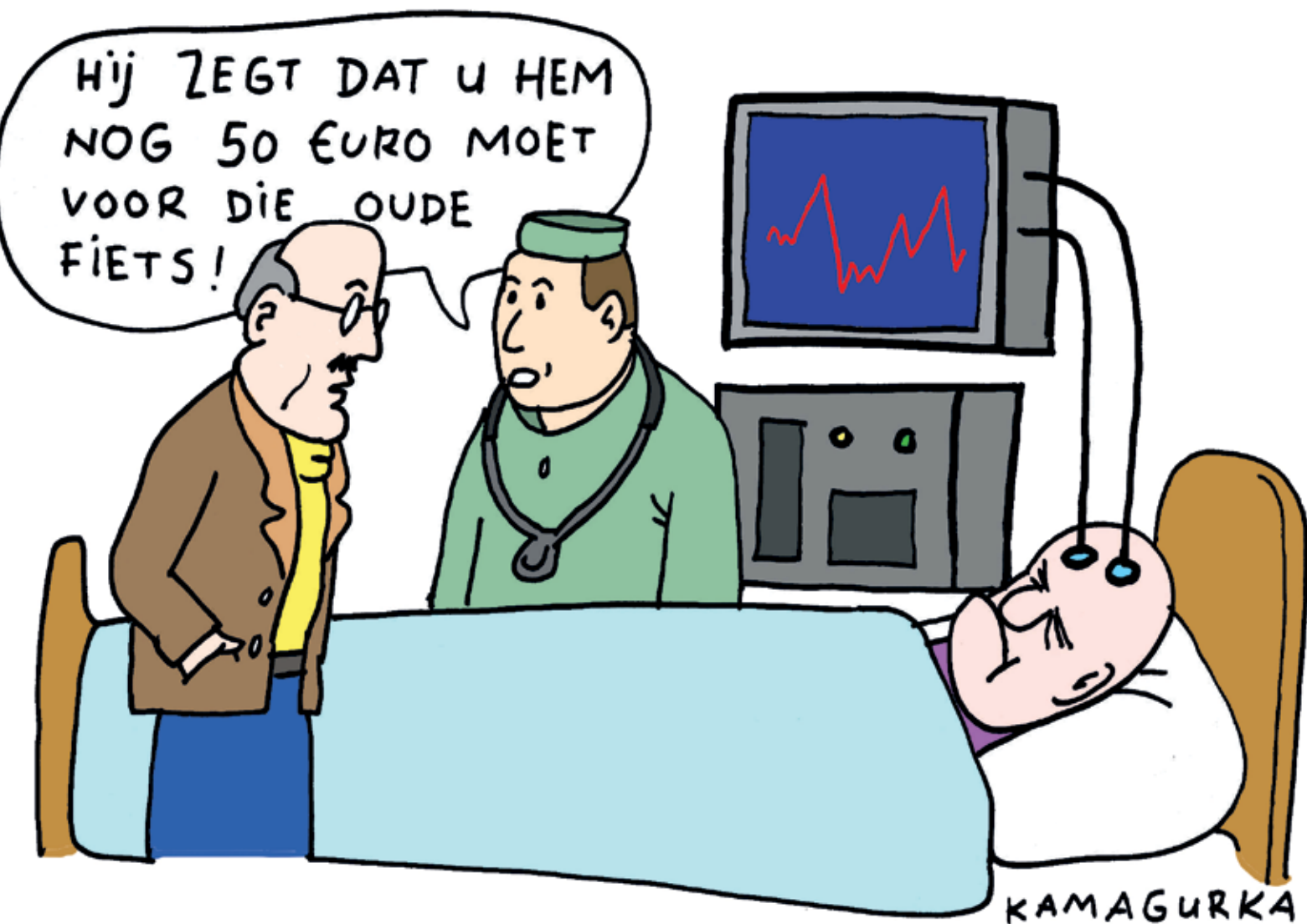
Via zijn hersengolven kan een verlamde patiënt een cursor bewegen of een tekst schrijven

elektriciteit, ontstaat daardoor elektromagnetische straling, oftewel hersengolven. Die komen echter moeilijk door de schedel heen.

ZWAK SIGNAAL

In een kelder van de Radboud Universiteit Nijmegen doet promovenda Marianne Severens onderzoek naar deze zwakke straling. 'Elke elektromagnetische impuls van buiten verstoort de meting', licht ze de ondergrondse locatie toe. Haar proefpersoon voert allerlei

Als de proefpersoon helemaal stil zit, krijgt de computer nuttige data binnen waaruit het onderzoeksteam, geleid door hoogleraar kunstmatige intelligentie Peter Desain, een verband kan afleiden tussen een bepaalde voorgestelde beweging en het daarbij horende patroon van hersenactiviteit. Door veel metingen te verrichten, verzamelen de onderzoekers een uitgebreide database. Die gebruiken ze voor de ontwikkeling van BCI. Als een verlamde patiënt zich een beweging



voorstelt met zijn linkerhand, vergelijkt een computer de resulterende hersengolven met de patronen in de database en herkent zo die specifieke beweging, waarna bijvoorbeeld de cursor naar links gaat. Zonder daadwerkelijk te bewegen, bestuurt de patiënt dan een pc. Desain: 'Het betreft echt patroonherkenning. Als we een patroon meten dat niet in de database voorkomt, hebben we er niets aan. Het zou geweldig zijn als we weten hoe het begrip 'ruimte' gerepresenteerd is in onze hersenen, dan hoeven we dat niet steeds te meten. Maar de computer kan dus niet zomaar je gedachten lezen.'

Wel kan die detecteren waar je je op concentreert. Dat is erg handig voor mensen met locked-in-syndroom. Terwijl Jean-Do nog moest knippen als zijn logopediste de juiste letter opdreunde, hoeft een patiënt met behulp van BCI maar te focussen op een van de letters op een monitor. Alle letters lichten na elkaar op en wanneer de juiste aan de beurt is, registreert de computer een verhoogde

hersenactiviteit en schrijft die letter weg. Desain: 'Op basis van dat systeem hebben we een programma ontwikkeld met multiple-choicegesprekken. Patiënten communiceren dan door steeds te concentreren op een zin. Dat gaat veel sneller dan letter voor letter de boodschap spellen.'

INVASIEF

Severens en haar proefpersonen betrachten grote voorzichtigheid om alle ruis uit te sluiten, omdat ze gebruikmaken van EEG (elektro-encefalogram), een niet-invasieve vorm van BCI met een zwak signaal (zie 'Verschillende soorten BCI'). Invasieve BCI werkt veel beter, maar vereist een hersenoperatie en is te riskant voor gezonde proefpersonen. Aan de Washington University in St. Louis onderzoekt Daniel Moran de mogelijkheden van sensoren onder de schedel. Hij plaatste EECog-elektrodes in het hoofd van een aap, die daarmee een kunstmatige arm bestuurt. Overigens is deze robotarm slechts verbon-

Wie heeft baat bij BCI?

Mensen die lijden aan Amyotrofe Laterale Sclerose (ALS) verliezen geleidelijk alle kracht in hun spieren. In Nederland en België krijgen jaarlijks respectievelijk 500 en 200 mensen - voornamelijk mannen - de diagnose ALS.

Als gevolg van een Cerebrovasculair Accident (CVA), ofwel beroerte, kunnen mensen volledig verlamd raken. Jaarlijks krijgen 23.000 Belgen en 41.000 Nederlanders een beroerte.

Bij beschadiging van het ruggenmerg treedt een dwarslaesie op. Mensen met een hoge dwarslaesie raken tot hun nek verlamd. Ze kunnen nog wel praten, maar het besturen van een computer of rolstoel is moeilijk.

In de film *The Diving Bell and the Butterfly* krijgt Jean-Do het boek te zien dat hij schreef door met zijn ogen te knippen.



den met het brein; de ledematen blijven intact. Moran is enthousiast over de prestaties van het dier. 'Met zijn gedachten beweegt hij de arm in drie dimensies, plus rotatie. Zo kan hij zelfs een deur openen met een sleutel.'

Voor experimenten met mensen gelden strengere regels. In uitzonderlijke gevallen mag iemand een korte periode als proefpersoon dienen in onderzoek met invasieve BCI. 'Op de University of Pittsburgh droeg een verlamde patiënt dertig dagen lang implantaten in zijn ruggenmerg', vertelt Moran. 'Dat werkte ook prima. In de beperkte tijd die hij had, leerde hij een cursor te bewegen in een driedimensionale ruimte.' Mensen die voor andere doeleinden al sen-

soren in hun hoofd hebben, vormen een buitenkansje voor neurowetenschappers. Epilepsiepatiënten dragen korte tijd ECoG-elektrodes om te kijken in welk hersengebied

Een aap met elektrodes in zijn hoofd kon met zijn robotarm zelfs een deur openen met een sleutel

hun aanvallen starten, zodat chirurgen weten welk stukje weefsel ze moeten verwijderen. Moran: 'Wij maken daar dankbaar gebruik van door ze uit te nodigen voor een paar

tests. Een jongetje speelde bijvoorbeeld *space invaders* met zijn gedachten.'

PRAKTIJK

Met invasieve BCI is dus al veel mogelijk. Maar de noodzakelijke ingreep in de hersenen staat op dit moment grootschalig gebruik in de weg. Tegelijkertijd werkt de patroonherkenning van EEG nog niet snel genoeg om te concurreren met de huidige communicatiehulpmiddelen voor verlamde patiënten. Logopediste Janneke Weikamp van het UMC St. Radboud helpt hen die te gebruiken. 'Er bestaat een geavanceerd oogbesturingssysteem. Daarmee besturen patiënten eigenlijk een volledige computer. Ze kunnen ook gewoon e-mailen en internetten.' Een camera-tje volgt de bewegingen van de ogen, die de computermuis vervangen. Ook dat systeem heeft echter zijn nadelen. Weikamp: 'Het kost erg veel inspanning. Bij een progressieve verlamming zoals ALS (zie 'Wie heeft baat bij BCI?', red.) komt het voor dat zelfs oogbesturing niet goed meer werkt. Dan is BCI een uitkomst.'

Als het eenmaal veilig is, vormt invasieve BCI volgens Moran de beste optie. Ook voor

Alle letters lichten na elkaar op. Wanneer de juiste aan de beurt is, registreert de computer een verhoogde hersenactiviteit.



locked-in-patiënten met goede ogen werkt het beter dan oogbesturing. Moran: 'BCI moet snel zijn, daar gaat het om. De invasieve technieken werken zelfs sneller dan een joystick. En over een paar jaar is de hardware veilig genoeg voor permanent gebruik. We stevenen snel af op toepassingen in de praktijk.'

Om dat doel te bereiken, kiest Moran met E(E) CoG voor een pragmatische middenweg tussen de langzame EEG en de snelle micro-elektrodes. 'Niet-invasieve technieken werken nog te slecht om ingewikkelde taken uit te voeren en micro-elektrodes moet je na een aantal jaar weer vervangen. Mensen willen geen gevaarlijke hersenoperatie ondergaan voor iets dat een tijdje later niet meer werkt.' Omdat micro-elektrodes direct in het brein zitten, beschouwt het lichaam ze als vijandig en kapselt ze in. Dan meten ze geen stroompjes meer.

SPEELGOED

Terwijl onderzoekers de hardware voor invasieve BCI veiliger maken en de software voor EEG optimaliseren door patronen in hersengolven te meten, moeten verlamde patiënten vooralsnog wachten op daadwerkelijke toepassingen. De entertainmentindustrie brengt wel

al speeltjes op de markt om het sciencefiction-karakter van gedachtelezen te exploiteren. Zo kent Japan een rage met beweegbare katten-oortjes voor op je hoofd. Door aan bepaalde dingen te denken, gaan de oortjes in een andere positie staan. En fans van *Star Wars* kunnen als een ware Jedi een bal laten zweven met een Force Trainer. Met de juiste focus laat je dan een ventilator draaien onderaan een buis, waarin het balletje vervolgens omhoog vliegt. Dit speelgoed is natuurlijk uitsluitend gebaseerd op niet-invasieve technieken. Dat zorgt er wel voor dat het element van gedachtelezen moeilijk uit de verf komt. Het optrekken van een wenkbrauw verpest de hersengolven al. Je bestuurt het speeltje dan eigenlijk met je gezicht. Desain: 'Die spiersignalen kan je er met de juiste software uitfilteren. Ik denk dat we over vijf jaar computergames kunnen spelen met onze hersenen. Dus zonder controller en zonder vals te spelen met je gezichtsspieren.' Voor serieuzere toepassingen ziet Desain ook mogelijkheden buiten de medische wereld. EEG kan bijvoorbeeld meten hoe diep iemand slaapt. Een slimme wekker wacht dan even met rinkelen tot hij zijn eigenaar kan wekken tijdens een periode van lichtere slaap. Voorwaarde is wel – eenmaal te laat aangekomen op kantoor – dat je baas de uitleg accepteert dat je harder werkt als je fit bent. Verder is BCI toepasbaar bij het leren van een nieuwe taal. Japanners willen bijvoorbeeld sneller het verschil leren tussen de klanken 'r' en 'l'. Met EEG-elektrodes op hun hoofd kijken ze dan naar een Engelstalige film. Als ze het verschil horen, wordt het beeld scherper. Op die manier krijgen hun hersenen feedback en leren ze automatisch. Desain is blij met de eerste pogingen vanuit de commercie om BCI aan de man te brengen.



Een rage in Japan: door aan bepaalde dingen te denken, gaan de katten-oortjes in een andere positie staan.

gen. 'Het is goed dat – naast de medische industrie – ook andere sectoren hiermee bezig zijn. Zij geven een extra push aan de ontwikkelingen. Mensen die het echt nodig hebben, hebben daar alleen maar profijt van.' Voor Jean-Do is het echter te laat. Vlak na de

publicatie van zijn boek in 1997 overleed hij aan een longontsteking. ■
Meer weten over het brein en hersenstimulatie? Eos organiseert op 22 februari een debat met de experts Dick Swaab en Paul Boon. Meer informatie vindt u op pag. 47.

Verschillende soorten BCI

NIET-INVASIEF

Voor niet-invasieve BCI is geen hersenoperatie nodig. De straling die van de hersenen komt, wordt buiten het hoofd opgevangen. Hersengolven hebben moeite om door de schedel te dringen, zodat het signaal zwak is. Daarom is het moeilijk om een computer te besturen met deze vorm van BCI.

Elektro-encefalografie (EEG) is een manier om hersengolven op te vangen met behulp van elektrodes die op de hoofdhuid worden geplaatst. Elke sensor vangt elektromagnetische straling op vanuit het brein. De gemeten hersenactiviteit van alle elektrodes samen vormt een patroon. Door dat te relateren aan de gedachte die een proefpersoon heeft op dat moment, leren onderzoekers welke patronen bij gedachten horen. Dit is de langzaamste, maar veiligste vorm van BCI.

Je kunt je EEG voorstellen als een microfoon die 100 meter van een stadion is geplaatst, waarbij geldt: de supporters in het stadion zijn de neuronen in het brein. Je hoort alleen wat er bij de wedstrijd gebeurt als alle supporters tegelijk schreeuwen of juichen.

INVASIEF

Voor invasieve BCI is een hersenoperatie nodig. Hierbij worden stroompjes en straling gemeten in de schedel. Daardoor is het signaal veel sterker.

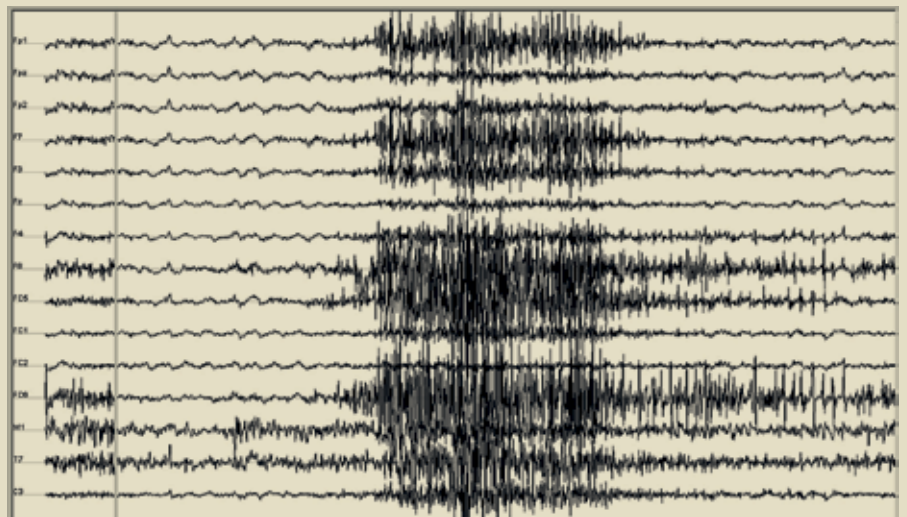
Bij **Elektro-epiduralcorticografie (EECoG)** wordt een serie van schijfvormige elektrodes geplaatst op het hersenvlies, tussen de schedel en het brein in. Zonder zenuwen te raken, vangen de sensoren hersengolven binnen de schedel op.

Bij **Elektrocorticografie (ECoG)** wordt een serie van schijfvormige elektrodes op de hersenschors geplaatst, dus direct op het brein. De sensoren vangen hersengolven op voordat ze hersenvlies en schedel passeren.

Je kunt je E(E)CoG voorstellen als een microfoon die voor een supportersvak in een stadion is geplaatst. Wanneer het grootste deel van het vak over de wedstrijd praat, krijg je mee wat er gebeurt op het veld. Naast de doelpunten hoor je dus ook details.

Micro-elektrodes worden in het brein geplaatst om stroompjes op te vangen binnen de hersenen. Ze vangen informatie die de neuronen uitwisselen direct op. Dit is de snelste, maar onveiligste vorm van BCI.

Je kunt je micro-elektrodes voorstellen als microfoons die voor individuele supporters in een stadion zijn geplaatst. Alles wat ze over de wedstrijd zeggen, krijg je mee. Je hoort dus veel details over de wedstrijd.



Om hersengolven op te vangen met EEG is geen operatie nodig. Helaas wordt de communicatie makkelijk gestoord, hier bijvoorbeeld doordat de proefpersoon met hoofd en mond beweegt (te zien in het midden van de grafiek).