

Samen aanjagen van vernieuwing

Brain-Computer Interfaces voor onderwijs en onderzoek

Het heruitvinden van de interactie tussen mens en computer, zowel in goede als slechte zin.

Datum: Mei 2024

Inhoudsopgave

1. INTRODUCTIE	3
1.1 Achtergrond	4
2 WAT IS EEN BRAIN-COMPUTER INTERFACE	5
2.1 Technieken voor het lezen van hersenactiviteiten	5
2.2 Groeiende interesse in BCI	7
3 VAN KLINISH ONDERZOEK NAAR DE CONSUMENTENMARKT	8
3.1 Progressie van BCIs	8
3.2 Huidige toepassingsgebieden voor BCI	8
3.2.1 Spraakcommunicatie	8
3.2.2 Aandacht en mindfulness	8
3.2.3 Samenwerking	8
3.2.4 Immersieve virtuele realiteit	9
3.2.5 Apparaatbediening	9
4 WAT ALS...	10
4.1 De perfecte niet-invasieve leeromgeving	10
4.2 Ultieme life hack	10
4.3 Concurrerende regio's in de race om BCI	10
5 AFSLUITEN	11
BIJLAGE: BRONNEN	13

1. Introductie

Samenvatting

Brain-computer interfaces (BCI's) bieden verschillende toepassingen, van hulp bij spraakcommunicatie tot het aansturen van externe apparaten zoals kunstledematen. Het onderscheid tussen implanteerbare en niet-implanteerbare BCI's is cruciaal, waarbij implanteerbare BCI's een hogere nauwkeurigheid bieden maar ook bepaalde risico's met zich meebrengen. Ondanks de veelbelovende vooruitgang blijven er naast cyberbeveiliging uitdagingen bestaan zoals de privacy van gegevens en ethische overwegingen. De groeiende belangstelling voor BCI's, de toenemende beschikbaarheid op de markt en het lopende onderzoek beloven echter een potentiële toekomst waarin BCI's worden geïntegreerd in verschillende aspecten van het dagelijks leven. Maar is dit potentieel haalbaar of wenselijk? Eén ding is zeker, het zal nog enkele decennia duren.

Begin 2023 kondigde Neuralink van Elon Musk aan dat ze zouden beginnen met het werven van deelnemers na goedkeuring van een institutionele beoordelingsraad van een ziekenhuis. De goedkeuring betekende dat Neuralink een experimenteel hersenimplantaat kon uitvoeren om "mensen de mogelijkheid te geven om een computercursor of toetsenbord te besturen door alleen hun gedachten te gebruiken" (Neuralink, 2023). In januari 2024 implanteerde Neuralink een chip in de hersenen van een deelnemer. De vooruitgang gaat verder nu de eerste patiënt van Neuralink een opmerkelijke mijlpaal heeft bereikt. De 29-jarige, verlamd door een auto-ongeluk, was naar verluidt in staat om videogames te spelen en berichten te plaatsen op X door alleen zijn gedachten te gebruiken (Reuters, 2024). De goedkeuring van de eerste klinische proef van Neuralink voor mensen heeft veel aandacht van de media gekregen.

In deze whitepaper zullen we kort ingaan op de achtergrond van brain-computer interfaces (BCI) en meer recente ontwikkelingen, huidige en potentiële toepassingsgebieden en de mogelijke impact op onderwijs en onderzoek. We zullen ingaan op ethische overwegingen met betrekking tot BCI's, maar onze discussie zal niet diep op dit aspect ingaan. We verzamelen inzichten uit desk research en interviews met drie experts:

- Anne-Marie Brouwer, senior wetenschapper bij TNO en hoogleraar Mental State Monitoring aan de Radboud Universiteit;
- Jan Willem van 't Klooster, universitair hoofddocent monitoring- en coachingtechnologieën aan de Universiteit Twente;
- Mariska Vansteensel, assistant professor bij de afdeling Neurologie en Neurochirurgie van het UMC Utrecht, en voorzitter van de BCI Society.

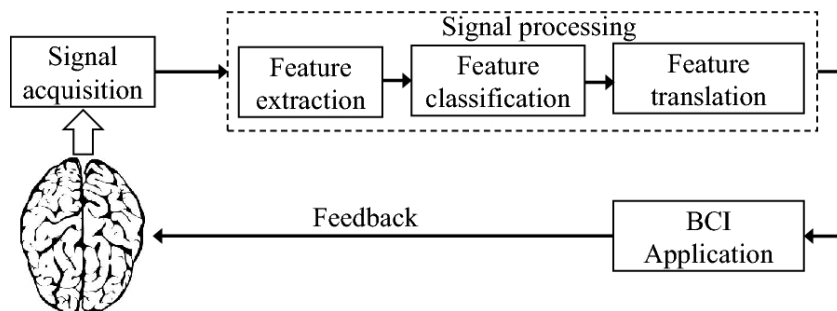
1.1 Achtergrond

Een Brain-Computer Interface is een systeem dat hersensignalen verzamelt, analyseert en vertaalt in commando's om een extern apparaat aan te sturen (Mullin, 2023). Het beginpunt van brain-computer interfaces gaat terug tot 1924. In dat jaar creëerde Hans Berger een apparaat dat hersenactiviteit kan meten met behulp van elektro-encefalografie (EEG) (Ince, Adanir, & Sevmez, 2020). Vijf decennia later werd de term 'Brain-Computer Interface' geïntroduceerd in 1973 door Jacques Vidal in zijn paper aan de Universiteit van Californië. Vidal beschreef BCI als "een verbinding tussen de hersenen en een computer" (Vidal J. J., 1973). De hersenen vuren continu elektrische signalen af die samen met andere signalen door sensoren kunnen worden uitgelezen. Deze signalen kunnen worden vertaald in commando's die door een computer kunnen worden gebruikt. In zijn publicatie verwijst Vidal naar een computer als "een prothetische uitbreiding van de hersenen" (Vidal J. J., 1973). Vidal voltooide ook het eerste wetenschappelijke experiment waarbij een 'niet-implanteerbare' BCI werd gebruikt om een cursor op een computerscherm te verplaatsen (Vidal J. J., 1977).

Sinds de experimenten van Vidal zijn BCI's aanzienlijk verbeterd op het gebied van nauwkeurigheid, snelheid en bruikbaarheid, waardoor de weg is vrijgemaakt voor nieuwe toepassingsmogelijkheden in verschillende domeinen. In 2006 demonstreerde de groep van Leigh Hochberg de besturing van een cursor door middel van een BCI implantaat, wat een belangrijke vooruitgang betekende op dit gebied (Hochberg et al., 2006). In de loop der jaren heeft vervolgonderzoek nog geavanceerdere vormen van besturing laten zien. Onderzoekers hebben indrukwekkende prestaties geleverd, zoals het nauwkeurig en snel decoderen van spraak met behulp van BCI's. Deze vooruitgang onderstreept de opmerkelijke evolutie die BCI's hebben doorgemaakt. Deze vooruitgang onderstreept de opmerkelijke evolutie in BCI-technologie en het potentieel ervan om een revolutie teweeg te brengen in communicatie- en besturingsinterfaces voor mensen met motorische beperkingen.

2 Wat is een Brain-Computer Interface

BCI's streven ernaar om (directe) communicatie tot stand te brengen tussen de hersenen en een apparaat. Dit apparaat is meestal een computer die gebruikt wordt voor praktische toepassingen. Deze toepassingen zijn vaak gericht op het herstellen van verloren lichaamsfuncties. De eerste ontwikkelingen waren het gebruik van BCI's om verlamde mensen in staat te stellen een computer te gebruiken. Een vereiste voor BCI's is dat ze een gesloten feedbacklus hebben. Dit betekent dat de acties die de hersenactiviteit teweegbrengt merkbaar zijn voor de eindgebruiker, zoals het verplaatsen van een cursor op een scherm.



Van: [Brain-computer interface: trend, challenges, and threats](#)

2.1 Technieken voor het lezen van hersenactiviteiten

Er kan een duidelijk onderscheid worden gemaakt tussen implanteerbare en niet-implanteerbare BCI's. Implanteerbare BCI's worden operatief geïmplant in het lichaam van de gebruiker, dicht bij het zenuwstelsel. Niet-implanteerbare BCI's worden bovenop de huid van de deelnemer geplaatst en zijn verwijderbaar (Kumar, 2021). Deze verschillende technologieën kunnen worden gebruikt om informatie uit de hersenen te lezen, die vervolgens door een apparaat kan worden gebruikt. Om je een overzicht te geven van technieken om hersenactiviteiten te lezen, hebben we er een aantal opgesomd in de volgende tabel.

Tabel 1 Overzicht BCI-technieken

BCI techniek	Implanteerbaar /Niet-implanteerbaar	Beschrijving
ElectroEncephaloGraphy (EEG)	Niet-implanteerbaar	Meet elektrische signalen van de hersenen door sensoren op de hoofdhuid te plaatsen.
Magnetoencefalografie (MEG)	Niet-implanteerbaar	Detecteert de magnetische velden van de hersenen die worden geproduceerd door de elektrische activiteit.
Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS)	Niet-implanteerbaar	Meet BOLD-signalen (afhankelijk van het zuurstofniveau in het bloed), in wezen het metabolisme van de hersenen door sensoren op de hoofdhuid te plaatsen.

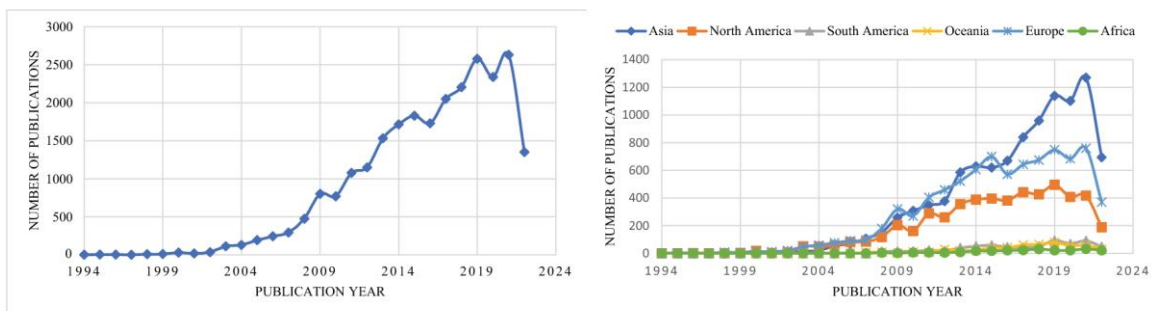
Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI)	Niet-implanteerbaar	Meet BOLD-signalen (blood oxygen level dependent), in wezen het metabolisme van de hersenen met behulp van een MRI-scan.
ElectroCorticoGraphy (ECoG)	Implanteerbaar	Meet elektrische signalen van de hersenen met sensoren die direct op de hersenen worden geplaatst. Hogere gegevenskwaliteit van de meting in vergelijking met EEG. Hoge temporele en ruimtelijke resolutie.
Intracorticale multielectrode arrays (MEA)	Implanteerbaar	Meet verschillende signalen van de hersenen (zoals neuronregistratie, bloed, zuurstof en meer) met behulp van een implantaat dat rechtstreeks in de hersenen wordt geplaatst.
Stentrode	Implanteerbaar	Is een BCI-apparaat dat in bloedvaten in de buurt van de hersenen wordt geplaatst.
StereoElectroEncephalography (SEEG)	Implanteerbaar	Het is een neurochirurgische procedure waarbij meerdere diepte-elektroden in specifieke gebieden van de hersenen worden geplaatst om elektrische activiteit op te nemen en epileptische aanvallen te lokaliseren of hersenfuncties in kaart te brengen.

Brouwer wijst op het verschil tussen actieve en passieve BCI's. Van 't Klooster maakt onderscheid tussen directe en indirecte BCI. Van Steensel erkent de complexiteit van BCI's en geeft aan dat de BCI-vereniging momenteel de definitie van BCI's herzielt, omdat er momenteel een brede interpretatie is van wat wel of niet als een BCI wordt beschouwd.

We moeten ons begrip van de werking en structuur van de hersenen nog verbeteren. Hoe meer we weten over de hersenen, hoe meer mogelijkheden we hebben voor BCI (Becht & Commissie juridische zaken en mensenrechten, 2020) (Devlin, 2023). Ondanks de technologische vooruitgang benadrukt Brouwer de uitdagingen bij het interpreteren van hersenactiviteiten en het waarborgen van de gegevenskwaliteit, terwijl van 't Klooster de impact van bewegingsartefacten op de gegevensintegriteit en signaalinterpretatie benadrukt, wat vooral een probleem is bij niet-implantaten BCI's. Deze obstakels onderstrepen de complexiteit van het ontwikkelen van betrouwbare BCI-systemen.

2.2 Groeiende interesse in BCI

De afgelopen jaren is er snelle vooruitgang geboekt op het gebied van BCI-technologieën. Het aantal onderzoeken naar BCI's neemt toe, waardoor de grenzen van wat we met BCI's kunnen bereiken worden verlegd (Maiseli, 2023). De stijging lijkt volgens Van 't Klooster te komen door een kleine toename in betaalbaarheid, gebruiksgemak, nauwkeurigheid en toegankelijkheid van de technologie en de combinatie met technologieën als machine learning (ML) en extended reality (XR). Vansteensel erkent de vooruitgang op dit onderzoeksgebied, aangezien AI/ML de verwerking van signalen ondersteunt als het gaat om interpretatie of voorspelling. Ondanks de opkomst zijn er nog maar weinig mensen die BCI's gebruiken in hun dagelijks leven. Ondanks de groeiende belangstelling zijn er volgens Vansteensel beperkingen, zoals oververhitting van implanteerbare apparaten.



(a) Overall publication trend

(b) Continental publication trend

Van: [Brain-computer interface: trend, challenges, and threats](#)

Opmerking: De daling aan het einde is waarschijnlijk een gevolg van (voorlopig) onvolledige gegevens.

Terwijl Neuralink van Elon Musk vooral de aandacht van de media heeft getrokken, is Meta een voorbeeld van een ander bedrijf dat de aandacht van de media trekt. Meta heeft samengewerkt met een team onderzoekers van de University of California, San Francisco (UCSF) nadat Regina Dugan een provocerende vraag stelde: "Wat als je rechtstreeks vanuit je hersenen zou kunnen typen?" op het podium van F8 in 2017 (Meta, 2017). In 2020 deelde Meta een visie op een handsfree interface: "Stel je een wereld voor waarin alle kennis, het plezier en het nut van de huidige smartphones direct toegankelijk en volledig handsfree zijn" (Meta, 2020). Sinds 2017 boekte Meta vooruitgang met UCSF en in 2021 werd een mijlpaal bereikt met project Steno door het succesvol decoderen van pogingen tot conversatie in real-time aan te tonen (Meta, 2021). Ze stopten echter met het programma, wat geen verrassing was voor onderzoekers, omdat hun tijdsbestek te kort was (Regalado, 2021). Maar wat als iemand daadwerkelijk de tijd en middelen nam die nodig waren? Het is belangrijk om op te merken dat tal van andere bedrijven actief onderzoek ondersteunen op het gebied van brein-computer interfaces en inderdaad hun tijd en middelen investeren, hoewel ze minder of geen media-aandacht krijgen.

3 Van klinisch onderzoek naar de consumentenmarkt

3.1 Progressie van BCI's

Er zijn naar schatting ongeveer 60 hersenimplantaten voltooid in de afgelopen twee decennia, de meeste daarvan worden niet meer gebruikt, maar al deze BCI's zijn experimenteel en worden toegepast op bepaalde gevallen. Het aantal zal de komende jaren waarschijnlijk toenemen met meer technologische vooruitgang (Howard, 2022). De marktwaarde van BCI's zal naar verwachting ook groeien. In 2022 was de marktwaarde 1,9 miljard USD. De verwachting is dat dit zal stijgen tot 8,9 miljard USD in 2032 (Acumen Research and Consulting, 2023). De toenemende prevalentie en marktwaarde van BCI's onderstrepen de noodzaak van het verkennen van hun diverse toepassingen, die het transformerende potentieel van BCI-technologie op verschillende gebieden laten zien.

3.2 Huidige toepassingsgebieden voor BCI

3.2.1 Spraakcommunicatie

Er zijn doorbraken geweest om mensen met spraakstoornissen weer te laten spreken. Er zijn meerdere onderzoeken gedaan naar neuroprothetische spraak. nUMC Utrecht was de eerste ter wereld die aantoonde dat een volledig implanteerbare BCI kan dienen als praktisch communicatiemiddel voor mensen met ernstige motorische en communicatieve beperkingen (Vansteensel et al., 2016). Sindsdien hebben onderzoekers zich sterk gericht op het decoderen van (pogingen tot) spraak vanuit de hersenen (Berezutskaya et al., J Neural Eng 2023; en Moses et al.). Vansteensel legt uit dat delen van de hersenen die verantwoordelijk zijn voor de stemmotoriek worden uitgelezen en dat deze signalen worden verwerkt en geïnterpreteerd om echte spraak te genereren. Al wordt gebruikt voor de interpretatie van de neurale signalen en de voorspelling van de spraakpoging. Moses et al. (2021) gebruikten een methode van deep-learning algoritmen om berekeningen te maken die woorden achterhalen en categoriseren door te kijken naar patronen in hersenactiviteit. Deze programma's hielpen hen om zinnen te begrijpen en af te maken door het volgende woord te voorspellen op basis van wat er eerder was gezegd. Dit voorbeeld van neuroprothetische spraak toont het snijvlak van neurowetenschap en kunstmatige intelligentie (Wang et al., 2023).

3.2.2 Aandacht en mindfulness

Een andere toepassing van BCI's is het gebied waar Brouwer naar kijkt: aandachtsspan en geheugen. BCI's doen hun intrede op de consumentenmarkt om in te spelen op de wens van mensen om zichzelf te monitoren/kwantificeren. Een toepassing met EEG is bedoeld om gebruikers te helpen tijdens meditatie door hun neurale activiteit te lezen en andere metingen te gebruiken, zoals fysieke beweging en een optische hartslagmeter. Deze informatie wordt verwerkt in mobiele apps om gebruikers feedback te geven over hun focus tijdens meditatiesessies (Muse, 2024). Een ander voorbeeld is een tracking-apparaat dat helpt bij het creëren van bewustzijn rond stressvolle situaties. De integratie van BCI's in consumentenproducten onderstreept hun potentieel om het dagelijks leven te beïnvloeden.

3.2.3 Samenwerking

BCI's zijn ook opgenomen in een zogenaamd brein-tot-brein-interface. Naast het lezen van hersensignalen wordt gedrag ook beïnvloed door stimulatie van bepaalde hersengebieden. Een recent voorbeeld is het BrainNet-project van onderzoekers aan de Universiteit van Washington (Jiang, 2019). Drie deelnemers werd gevraagd een Tetris-achtig spel te spelen. Er werd een brein-naar-brein-netwerk opgezet tussen drie mensen - die niet met elkaar konden spreken, elkaar konden horen of elkaar konden zien - om informatie te ontvangen en te verzenden met behulp van

hun hersenen om een taak op te lossen. Vijf groepen van drie deelnemers hadden een nauwkeurigheid van 81% bij het uitvoeren van de taak. Het BrainNet-project gebruikte zowel EEG- als rTMS-technieken voor deze brein-tot-brein-interface. Dit voorbeeld laat het belang zien van hoe BCI-technologie directe communicatie en samenwerking tussen hersenen mogelijk kan maken, en laat interdisciplinaire vooruitgang en praktische toepassingen zien.

3.2.4 Immersieve virtuele realiteit

Voorstanders van 'neurale nanorobotica' zien BCI's in de toekomst op verschillende manieren toegepast worden. Deze toepassingen kunnen bestaan uit: volledig meeslepende virtuele realiteit die sterk lijkt op de realiteit, augmented reality die informatie uit de echte wereld weergeeft, real-time vertaling van vreemde talen via auditieve middelen en toegang tot verschillende vormen van online informatie. Daarnaast is er een concept om het leven van bereidwillige individuen wereldwijd te ervaren door middel van niet-intrusieve 'Transparent Shadowing' in volledig immersieve, real-time episodes (EMOTIV, n.d.). Het Social Creative Technologies Lab van de Wageningen Universiteit experimenteert ook op dit gebied. De toepassing van BCI's in immersieve virtual reality shows belooft de manier waarop we de digitale wereld waarnemen en ermee omgaan te veranderen.

3.2.5 Apparaatbediening

BCI's kunnen volgens Vansteensel ook gebruikt worden om externe apparaten aan te sturen om ons in ons dagelijks leven te ondersteunen met taken. Een voorbeeld is het verplaatsen van een cursor op een scherm, of het besturen van een kunstledemaat (Collinger et al., 2018). Met verbeterde BCI's zou je je neurale activiteit kunnen gebruiken om slimme apparaten te besturen. Momenteel wordt in onderzoeksprojecten gekeken naar het combineren van BCI's met augmented reality om apparaten te besturen (Zhang et al., 2022).

4 Wat als...

De primaire functie van BCI is het uitlezen van herseninformatie om dit te vertalen naar bepaalde commando's op een computer (het sluiten van de feedbacklus). Vervolgens proberen we ons enkele situaties voor te stellen van de mogelijkheden van BCI's in ons dagelijks leven.

4.1 De perfecte niet-invasieve leeromgeving

BCI's worden op dit moment minder gebruikt in het onderwijs, maar daar komt verandering in. Een zeer recent voorbeeld is het experiment dat de Universiteit Twente onlangs uitvoerde onder 20 studenten om het alertheidsniveau te meten tijdens het uitvoeren van taken. Dergelijke gegevens kunnen worden gebruikt als meetbare feedback voor de docent, die hierop zou kunnen reageren om de kwaliteit van het geboden onderwijs te verbeteren (Universiteit Twente, 2024). Stel je voor dat er in deze situatie geen docent zou zijn en het een online leeromgeving zou zijn. Stel je ook voor dat de studenten een XR-apparaat gebruiken en dat het systeem zich onmiddellijk aanpast aan de huidige mentale toestand van de studenten om de ultieme leerervaring voor elke student te bieden. Met meer technologische vooruitgang in de komende jaren kan het gebruik van BCI's steeds gebruikelijker worden. Een BCI kan gebruikt worden om het aandachtsniveau, de stemming of de hoeveelheid informatie die een leerling krijgt te meten. Als we kijken naar de toegankelijkheid en betaalbaarheid van de BCI-technologieën en de huidige onderzoeksactiviteiten van verschillende universiteiten en de R&D-laboratoria in de technologie-industrie, dan is dit misschien geen al te verre toekomst.

4.2 Ultieme life hack

BCI's worden gebruikt om aandacht te monitoren, zoals in het vorige hoofdstuk al is gezegd. Stel je voor, je werkt onder grote druk en je moet geconcentreerd blijven. Een BCI meet je alertheid en geeft je een waarschuwing als je in slaap dreigt te vallen. In een minder stressvolle omgeving kan een BCI je allerlei voordelen bieden in combinatie met automatisering. Denk aan het besturen van je thuis- of kantooromgeving door alleen je gedachten te gebruiken, zoals wanneer je denkt aan een pauze en het koffiezetapparaat al een kopje koffie voor je heeft gezet wanneer je bij het apparaat komt. Stel je voor dat het systeem aanvoelt dat je iets nodig hebt, zoals het aanpassen van het licht en het klimaat in een vergaderruimte om je aandacht vast te houden.

4.3 Concurrerende regio's in de race om BCI's

BCI's kunnen fundamentele (mensen)rechten zoals privacy, integriteit en bescherming tegen zelfbeschuldiging in de weg staan. Vanwege ethische overwegingen en risico's heeft de Europese Commissie een strikte regelgeving met betrekking tot emotionele AI en BCI-technologieën om burgers te beschermen (Europees Parlement, 2023). Het mogelijke misbruik van BCI's voor onbedoelde doeleinden is een legitieme zorg. Zonder adequate regelgeving kunnen deze technologieën worden misbruikt om maatschappelijke waarden en normen te ondermijnen, wat aanzienlijke ethische en maatschappelijke risico's met zich meebrengt.

5 Afsluiten


De ontwikkeling van BCI-technologie is in volle gang. De vooruitgang op het gebied van BCI-technologie biedt grote mogelijkheden om zowel het leven van gehandicapten als de algehele menselijke mogelijkheden te verbeteren. Als ethische bezwaren en privacykwesties zorgvuldig in overweging worden genomen, kunnen BCI's een revolutie teweegbrengen op gebieden als onderzoek en onderwijs en mensen op ongekende manieren bekrachtigen. Door transparantie en verantwoord gebruik te stimuleren, kunnen we ervoor zorgen dat BCI's een positieve bijdrage leveren aan de maatschappij, nieuwe mogelijkheden voor interactie tussen mens en computer ontsluiten en een groter welzijn bevorderen. Er valt echter nog veel te ontdekken en te onderzoeken over onze hersenen. Er zijn nog steeds technologische problemen, los van ethische overwegingen. Enkele van die overwegingen zijn cyberveiligheid en oververhitting van implanteerbare BCI. Je kunt je ook afvragen: "Wat is het grote voordeel van het hebben van BCI's in ons dagelijks leven als er andere technologieën zijn om te overwegen?".

Auteurs; Gül Akcaova; Daniël van der Louw; Dylan Smit

Redactie; Tim van Eijl; Dorien Brugmans-Slot

Jaar van publicatie; 2024

Druk/versie; 1.0

Copyright;  ©2024 SURF. Deze publicatie valt onder een Creative Commons Naamsvermelding 4.0 Internationale licentie

Vragen, opmerkingen of meer informatie: futuring@surf.nl

Meer over futuring: www.surf.nl/themas/futuring

Bijlage: Bronnen

- Acumen Research and Consulting. (2023, 10). *Brain Computer Interface Market Size - Global Industry, Share, Analysis, Trends and Forecast 2023 - 2032*. Retrieved from Acumen: Maiseli, B., Abdalla, A.T., Massawe, L.V
- ANT Neuro. (2023). Retrieved from <https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7129904241179029505/>
- Becht, O. & Committee on Legal Affairs and Human Rights. (2020). *The brain-computer interface: new rights or new threats to fundamental freedoms?* (Doc. 14814, Reference 4435). Committee on Legal Affairs and Human Rights. Geraadpleegd op 1 april 2024, van <https://pace.coe.int/en/files/28722/html>
- Berezutskaya, J., Freudenburg, Z. V., Vansteensel, M. J., Aarnoutse, E. J., Ramsey, N. F., & Van Gerven, M. a. J. (2023). Direct speech reconstruction from sensorimotor brain activity with optimized deep learning models. *Journal of Neural Engineering*, 20(5), 056010. <https://doi.org/10.1088/1741-2552/ace8be>
- BrainRobotics. (2024, January 9). *BrainRobotics Hand - BrainRobotics*. <https://brainrobotics.com/brainrobotics-hand/>
- Brueck, H. (2022, 11 10). *A man with ALS who can't use his hands got a brain implant that lets him text, shop online, and play games — just by thinking. It could be a game-changer*. Retrieved from Insider: <https://www.insider.com/brain-computer-interface-what-is-it-how-does-it-work-2022-9>
- Cleveland Clinic. (2022). *Transcranial Magnetic Stimulation (TMS)*. Retrieved from Cleveland Clinic: <https://my.clevelandclinic.org/health/treatments/17827-transcranial-magnetic-stimulation-tms>
- Company, F., & Meta. (2019, November 7). F8 2017: AI, Building 8 and more technology updates from day two. *Meta*. <https://about.fb.com/news/2017/04/f8-2017-day-2/>
- Devlin, H. (2023, 05 1). *AI makes non-invasive mind-reading possible by turning thoughts into text*. Retrieved from the Guardian: <https://www.theguardian.com/technology/2023/may/01/ai-makes-non-invasive-mind-reading-possible-by-turning-thoughts-into-text>
- Eliaz, N. (2019). Corrosion of Metallic Biomaterials: A Review. Tel-Aviv University, Department of Materials Science and Engineering, Ramat Aviv. Retrieved from <https://www.mdpi.com/1996-1944/12/3/407>
- EMOTIV. (n.d.). EmotivBCI | Built for Insight, EPOC+ and EPOC X headsets. <https://www.emotiv.com/products/emotiv-bci>
- FocusCalm | EEG Headband Technology*. (2023, December 14). FocusCalm. <https://focuscalm.com>
- Henderson, E. (2022, 05 14). *'Foreign body reaction' to implants can be reduced by incorporating drug into silicone coating*. Retrieved from News Medical: <https://www.news-medical.net/news/20220314/e28098Foreign-body-reactione28099-to-implants-can-be-reduced-by-incorporating-drug-into-silicone-coating.aspx>
- Hiraki, M. A. (2020). *Passive Brain-Computer Interfaces for Enhanced Human-Robot Interaction*. Retrieved from <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frobt.2020.00125>
- Howard, K. (2022, 09 08). *Science & Tech Spotlight*. Retrieved from GAO: <https://www.gao.gov/products/gao-22-106118>
- Ince, R., Adanir, S. S., & Sevmez, F. (2020, 03 05). *The inventor of electroencephalography (EEG): Hans Berger (1873–1941)*. Retrieved from Springer Link: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00381-020-04564-z>

- Jiang, L. S. (2019). *BrainNet: A Multi-Person Brain-to-Brain Interface for Direct Collaboration Between Brains*. Retrieved from <https://www.nature.com/articles/s41598-019-41895-7>
- Kumar, S. (2021, 04 13). *The Pros and Cons of Invasive and Non-Invasive BCIs*. Retrieved from Scilogic: <https://scilogic.com/invasive-vs-noninvasive-brain-computer-interface-bci>
- Maiseli, B. A. (2023). *Brain-computer interface: trend, challenges, and threats*. Retrieved from <https://braininformatics.springeropen.com/articles/10.1186/s40708-023-00199-3>
- Mayo Clinic. (n.d.). *EEG (electroencephalogram)*. Retrieved from Mayo Clinic: <https://www.mayoclinic.org/tests-procedures/eeg/about/pac-20393875>
- Mayo Clinic. (n.d.). *Transcranial magnetic stimulation*. Retrieved from Mayo Clinic: <https://www.mayoclinic.org/tests-procedures/transcranial-magnetic-stimulation/about/pac-20384625>
- Meta. (2020, March 30). *Imagining a new interface: Hands-free communication without saying a word*. <https://tech.facebook.com/reality-labs/2020/3/imagining-a-new-interface-hands-free-communication-without-saying-a-word/>
- Meta. (2021, July 14). BCI milestone: New research from UCSF with support from Facebook shows the potential of brain-computer interfaces for restoring speech communication. <https://tech.facebook.com/reality-labs/2021/7/bci-milestone-new-research-from-ucsf-with-support-from-facebook-shows-the-potential-of-brain-computer-interfaces-for-restoring-speech-communication/>
- Moses, D. A., Metzger, S., Liu, J. R., Anumanchipalli, G. K., Makin, J. G., Sun, P., Chartier, J., Dougherty, M., Liu, P. M., Abrams, G., Tu-Chan, A., Ganguly, K., & Chang, E. F. (2021). Neuroprosthesis for Decoding Speech in a Paralyzed Person with Anarthria. *The New England Journal of Medicine*, 385(3), 217–227. <https://doi.org/10.1056/nejmoa2027540>
- Mullin, E. (2023, 09 19). *Everything We Know About Neuralink's Brain Implant Trial*. Retrieved from Wired: <https://www.wired.com/story/everything-we-know-about-neuralinks-brain-implant-trial/>
- Muse. (2024). *Muse: the brain sensing headband Store with Worldwide Shipping | Muse™ EEG-Powered Meditation & Sleep Headband*. Muse: The Brain Sensing Headband. <https://choosemuse.com/>
- Neuralink. (2023, 09 19). *Neuralink's First-in-Human Clinical Trial is Open for Recruitment*. Retrieved from Neuralink: <https://neuralink.com/blog/first-clinical-trial-open-for-recruitment/>
- neurotech Edu. (n.d.). *Consumer EEG Headsets*. Retrieved from neurotech Edu: <http://learn.neurotechedu.com/headsets/>
- NeuroTech Tree - View-only*. (n.d.). <https://foresight.org/ext/ForesightNeurotechTree/>
- Pedersen, T. (2021, 12 13). *All About Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI)*. Retrieved from PsychCentral: <https://psychcentral.com/lib/what-is-functional-magnetic-resonance-imaging-fmri/#f-mri-vs-mri>
- Psychology Today. (n.d.). *Brain Computer Interface*. Retrieved from Psychology Today: <https://www.psychologytoday.com/us/basics/brain-computer-interface>
- ScienceDaily. (2023, 08 28). *Brain signals transformed into speech through implants and AI*. Retrieved from ScienceDaily: <https://www.sciencedaily.com/releases/2023/08/230828130347.htm>
- Social Creative Technologies Lab @ Wageningen University. (2023, December 15). *Social Creative Technologies Lab @ Wageningen University on LinkedIn: #bci #vr #xr #3d #metaverse* [Video]. https://www.linkedin.com/posts/sct-lab_bci-vr-xr-ugcPost-7141419229605482496-Fxw5/?utm_source=share&utm_medium=member_desktop
- Stanford Encyclopedia of Philosophy. (2016, 2 10). *Neuroethics*. Retrieved from Stanford Encyclopedia of Philosophy: <https://plato.stanford.edu/entries/neuroethics/#EthiNeur>

- Steinert, H. D. (2021). *Real-World fNIRS Brain Activity Measurements during Ashtanga Vinyasa Yoga*. Norwegian University of Science and Technology, Department of Mechanical and Industrial Engineering. Trondheim: TrollLABS. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2076-3425/11/6/742>
- S. Zhang, Y. Chen, L. Zhang, X. Gao and X. Chen, "Study on Robot Grasping System of SSVEP-BCI Zhang, S., Chen, Y., Zhang, L., Gao, X., & Chen, X. (2022). Study on robot grasping system of SSVEP-BCI based on augmented reality stimulus. *Tsinghua Science and Technology*, 28(2), 322-329.
- University of Twente. (2024, February 15). No more soporific lectures. Universiteit Twente. <https://www.utwente.nl/en/news/2024/2/1354519/no-more-soporific-lectures>
- Vidal, J. J. (1973). *Toward direct brain-computer communication*. Los Angeles: University of California. Retrieved from <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.bb.02.060173.001105>
- Vidal, J. J. (1977). *Real-time detection of brain events in EEG*. IEEE. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1454811>
- Waldert, S. (2016, 06 27). *Invasive vs. Non-Invasive Neuronal Signals for Brain-Machine Interfaces: Will One Prevail?* Retrieved from Frontiers: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnins.2016.00295/full>