

Neurotechnologie



Rathenau Scan

Introductie

De opkomst van neurotechnologie die onze mentale toestanden wellicht kan uitlezen en beïnvloeden spreekt tot de verbeelding. Technologiebedrijven ontwikkelen apparaten voor consumenten thuis, op de werkvloer of in het klaslokaal. Ethici en juridisch specialisten waarschuwen dat cognitieve vrijheid en mentale integriteit onder druk komen te staan als buitenstaanders met neurotechnologie toegang krijgen tot onze mentale toestanden.

In deze scan geeft het Rathenau Instituut een overzicht van neurotechnologie. We beschrijven beoogde toepassingen, kansen en risico's voor publieke waarden op korte en lange termijn en beleidsinstrumenten voor het beschermen en realiseren van deze waarden. De scan sluit af met handelingsopties voor beleidsmakers. Deze Rathenau Scan is geschreven op verzoek van het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties.

Inhoud

Introductie	1
1. Samenvatting	2
2. Technologie en markt	9
3. Mogelijke toepassingen van neurotechnologie	21
4. Kansen en risico's voor publieke waarden	27
5. Beleidsscan	36
6. Handelingsopties	51
Begrippenlijst	57
Lijst van afkortingen	59
Literatuurlijst	60
Geraadpleegde experts en beleidsmakers	72

1. Samenvatting

In deze scan geven we duiding aan de ontwikkelingen rond neurotechnologie, en kijken we naar de kansen en risico's voor publieke waarden. Het Rathenau Instituut concludeert dat deze kansen en risico's op korte termijn samenhangen met het op grote schaal op de markt komen van draagbare neurotechnologie die eenvoudig is in het gebruik voor niet-medisch opgeleide personen. Het grootschalig verzamelen en verwerken van neurodata gaat met risico's gepaard waarbij het onduidelijk is of de huidige Nederlandse, Europese en internationale regelgeving voldoende bescherming biedt. Als neurotechnologieën op de lange termijn een grote ontwikkeling doormaken, wordt het wellicht mogelijk om mentale toestanden met meer nauwkeurigheid af te lezen, te beïnvloeden en te manipuleren. In dat geval komen publieke waarden die samenhangen met fundamentele aspecten van het mens-zijn, zoals autonomie en identiteit, onder druk te staan.

1.1. Wat is neurotechnologie?

Onze hersenen zijn een complex orgaan waar verschillende mentale toestanden zoals concentratie, aandacht, cognitieve vaardigheden, gedachten, herinneringen, emoties en dromen hun oorsprong vinden. Er wordt al decennia flink geïnvesteerd in onderzoek om de processen in het brein die deze mentale toestanden tot stand brengen beter te begrijpen. In deze scan vatten we neurotechnologie op als een paraplueterm voor verschillende technieken om hersenactiviteit te meten en/of te beïnvloeden.

Aanleiding voor een Rathenau Scan over neurotechnologie

Het Rathenau Instituut ziet drie belangrijke redenen om juist nu goed in beeld te brengen hoe ver neurotechnologie is, en welke mogelijke invloed de technologie kan krijgen op de samenleving. Ten eerste begeven grote technologiebedrijven zich in toenemende mate op het gebied van neurotechnologie waardoor het aanbod van apparaten die werken met neurotechnologie voor consumenten groeit. Ten tweede zien we technologische ontwikkelingen die het gebruik van neurotechnologie buiten het medische domein laagdrempeliger zullen maken. De versnelling die kunstmatige intelligentie-systemen (AI-systemen) op dit moment doorgaan, leidt ertoe dat neurodata eenvoudiger te interpreteren zullen zijn door niet-medisch opgeleide personen. En de ontwikkeling van droge EEG-sensoren maakt het mogelijk om hersenactiviteit te meten zonder dat er een geleidende gel op de hoofdhuid hoeft te worden aangebracht, wat de toegankelijkheid voor consumenten van neurotechnologie aanzienlijk kan verbeteren. De derde reden voor deze scan is de internationale ethisch-juridische discussie over de noodzaak van het uitbreiden van bestaande mensenrechtenkaders met specifieke 'neurorechten'. Centrale vraag in deze discussie is of er nieuwe regels nodig zijn om burgers te beschermen tegen het uitlezen van hun mentale toestanden, en daarmee directe beïnvloeding en mogelijk zelfs manipulatie van hun gedrag?

Hoe werkt neurotechnologie?

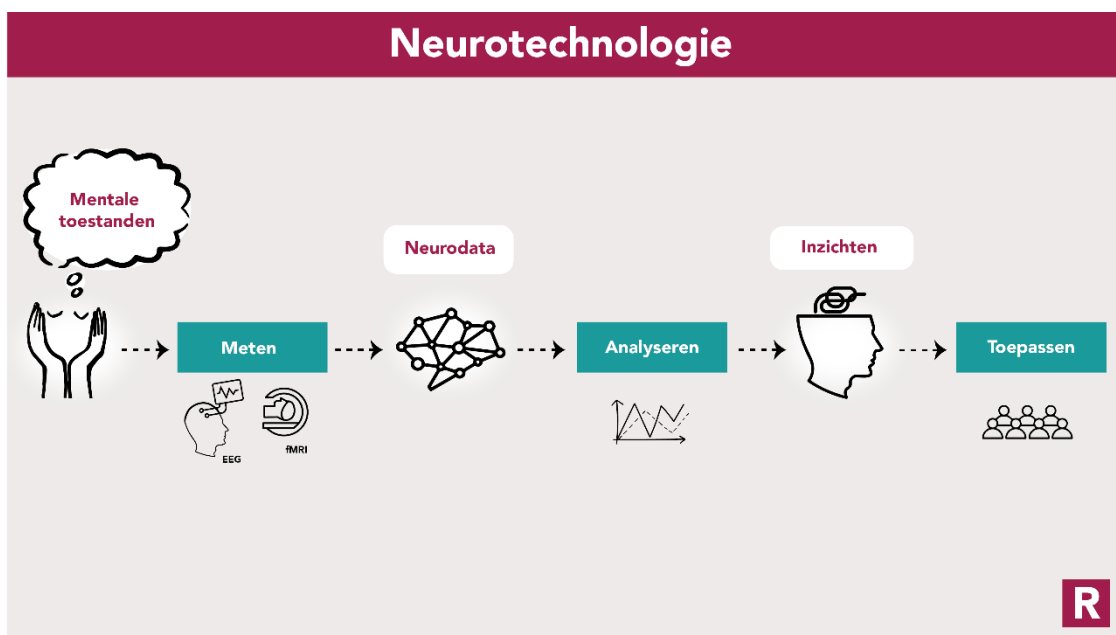
Om te begrijpen hoe neurotechnologie werkt, is het nuttig verschillende processen die van belang zijn bij de technologie te onderscheiden (zie figuur 1).

Metten: In de hersenen bevindt zich een groot aantal neuronen (zenuwcellen) die elektrische signalen afvuren als ze actief zijn. Een actief hersengebied verbruikt ook extra zuurstof. Dit soort fysiologische activiteit kan worden waargenomen en met een meetsysteem omgezet worden in digitale data. Verschillende technieken, zoals EEG, ECoG of fMRI, meten verschillende typen fysiologische activiteit. Neurodata zijn dus een digitale representatie van fysiologische activiteit – zuurstofgebruik en elektrische activiteit – in de hersenen.

Analyseren: Neurodata worden door een professional, een consument, en/of een computerprogramma geïnterpreteerd om inzichten af te leiden over de mentale toestanden van een individu. In consumententoepassingen wordt vaak een AI-systeem gebruikt om patronen te zoeken en te presenteren in neurodata. De analyse van neurodata is geslaagd wanneer er nuttige inzichten worden verkregen over de mentale toestanden. Onderzoekers kunnen ook neurodata van verschillende individuen samenvoegen en eventueel combineren met andere typen data om te leren over hoe emoties, voorkeuren of gedachten werken op groepsniveau.

Toepassen: Inzichten over de mentale toestanden van een individu of groep kunnen op verschillende manieren gebruikt worden. De kennis die neurotechnologie oplevert over onze mentale toestanden kan direct worden gebruikt (neurofeedback). De technologie kan ook worden ingezet voor neuromodulatie, in dit geval beïnvloedt neurotechnologie de hersenactiviteiten. Of neurotechnologie wordt gebruikt voor het aansturen van een computersysteem.

Figuur 1: Belangrijkste begrippen en specifieke kenmerken van neurotechnologie



Een probleem bij alle technieken is dat ieder brein andere, unieke hersenactiviteiten produceert. Voor complexere mentale toestanden, waaronder herinneringen, dromen en specifieke emoties zoals het ervaren van heimwee, is het nodig om de neurotechnologie af te stellen op het brein van die specifieke persoon.

1.2. Toepassingen van neurotechnologie

In de scan beschrijven we een aantal concrete toepassingen van neurotechnologieën waar nu in verschillende domeinen onderzoek naar wordt gedaan of mee wordt geëxperimenteerd. In de medische sector bestaat neurotechnologie al enkele decennia. Binnen dit domein zijn toepassingen al uitgebreider onderzocht, waardoor er beter zicht is op de kansen en risico's dan buiten de medische sector, en de bestaande regelgeving sluit hierop aan. We focussen ons onderzoek op neurotechnologie buiten het medische domein.¹ Meer recent worden toepassingen ontworpen voor persoonlijk gebruik en in de domeinen marketing, rechtspraak en onderwijs, en in de werkomgeving, waaronder voor defensie en topsport. Voor deze domeinen gelden andere regelgeving dan neurotechnologie voor het medische domein.

In figuur 2 op pagina 6 geven we een overzicht van deze toepassingen die we beschrijven in deze Rathenau Scan. De grootste groei van het gebruik van neurotechnologie op korte termijn zijn droge EEG-meetsystemen die gebruik maken van AI-systemen voor de analyse en ingebouwd worden in bestaande hardware, zoals helmen, hoofdbanden, AR/VR-brillen of oordopjes. Gebruikers kunnen deze nu al aanschaffen om hun cognitieve vermogens, mentale gezondheid of *game*-ervaring te verbeteren.

Inzichten over iemands mentale toestanden zoals aandacht en voorkeur worden ingezet om marketing te verbeteren. In experimenteel onderzoek wordt er gekeken of neurodata inzicht kunnen geven over waar iemand een herinnering aan heeft. Deze toepassing kan bruikbaar zijn in de rechtspraak. In experimenten is laten zien dat neurofeedback kan bijdragen aan leerprestaties, de verbetering van concentratie op de werkvloer, en de verbetering van de prestaties van topsporters en soldaten binnen specifieke omstandigheden. Hoe deze resultaten standhouden in de wereld buiten het laboratorium moet nog beter worden onderzocht.

Neuromodulatie wordt nog niet toegepast buiten het medische domein. Het aansturen van apparaten met behulp van EEG wordt op kleine schaal toegepast in *gaming* en onderzocht voor verschillende defensietoepassingen, zoals het besturen van een militair voertuig.

1.3. Kansen en risico's voor publieke waarden

We signaleren dat verschillende elementen van neurotechnologie in het niet-medische domein kansen en risico's voor publieke waarden met zich meebrengen. Voor het individu kan meer inzicht in mentale toestanden zoals concentratievermogen, positieve

¹ Parallel aan cosmetische chirurgie, waarbij ingrepen worden uitgevoerd in privé klinieken en door medische professional, maar waarmee geen medisch doel wordt nagestreefd.

gevolgen hebben voor de mentale gezondheid. Daarnaast kan neurotechnologie bijdragen aan zelfontplooiing, bijvoorbeeld door het leervermogen te verbeteren tijdens het volgen van onderwijs. Mogelijk kan met inzichten uit neurodata marketing voor commerciële of publieke doeleinden worden verbeterd met als gevolg economische vitaliteit en welvaart. Tegelijkertijd constateren we dat claims over de mogelijkheden van neurotechnologie op dit moment niet altijd wetenschappelijk gegrond zijn. Op het niveau van de samenleving zou neurotechnologie veiligheid kunnen verbeteren door mensen in (gevaarlijke) beroepen te monitoren en alertheid en concentratie te meten en door het versterken van defensie.

De keerzijde van de genoemde kansen voor het individu zijn risico's voor informationele en mentale privacy. Een meetsysteem kan worden gehackt en worden gebruikt om een poging te doen om persoonlijk informatie te verkrijgen. In een experiment is bewezen dat het mogelijk is om met behulp van het laten zien van foto's met cijfers en het analyseren van neurodata een goede inschatting te maken over iemands pincode.² Met risico's voor mentale privacy bedoelen we het privé houden van mentale toestanden zoals een gedachten die je niet vrijwillig wil prijsgeven. Er zijn tot de verbeelding sprekende experimenten gedaan waarbij waargenomen beelden of geluiden door proefpersonen volledig vanuit neurodata konden worden gereconstrueerd. Echter zijn de mogelijkheden tot gedachtenlezen op dit moment beperkt en waarschijnlijk ook in de toekomst is onze persoonlijke gedachtewereld niet zomaar te ontsluiten. De menselijke ervaring en gedachten daarover is volgens experts niet te reduceren tot fysiologische activiteiten in de hersenen en de daaruit afgeleide neurodata. Deze nuances zijn belangrijk om risico's van neurotechnologie voor mentale privacy op waarde te kunnen schatten.

Toch kan neurotechnologie wel degelijk risico's opleveren wanneer neurodata wordt gebruikt tegen het belang in van een gebruiker of publieke belangen. Wat wordt afgeleid uit neurodata hoeft niet volledig in overeenstemming te zijn met daadwerkelijke mentale toestanden om schadelijke gevolgen te hebben. Werken met verkeerde interpretaties kan in de toekomst leiden tot een verkeerde veroordeling in een rechtszaal of het verkeerd meten van alertheid op de werkvloer.

Ook zijn er risico's die gepaard gaan met het gebruik van AI-systemen in neurotechnologie. Een bias in de trainingsdata kan bepaalde groepen mensen benadelen omdat de technologie onvoldoende of niet voor hen werkt. De inzet van AI-systemen kan ook ten koste gaan van autonomie. Wanneer een AI-systeem direct anticipeert op patronen in neurodata is het onduidelijk wie er verantwoordelijk is voor het maken van een beslissing.

Een brede implementatie van neurotechnologie leidt mogelijk tot kansen voor meer inclusiviteit wanneer neurodivergente personen worden geholpen om beter hun weg te vinden in onze samenleving. Tegelijkertijd bestaat het risico ook dat verschillen tussen mensen minder geaccepteerd worden omdat deze behandeld kunnen worden. Wat nu

² Martinovic e.a., 'On the Feasibility of {Side-Channel} Attacks with {Brain-Computer} Interfaces', 2012.

als angstigheid kan worden gezien, valt mogelijk te worden gecorrigeerd in de toekomst. Dit kan helpen voor individuen en tegelijk leiden tot meer stigmatisering van klachten.

Figuur 2: Neurotechnologie in de samenleving

Neurotechnologie in de samenleving			
Toepassingen		Publieke waarden	
Welzijn • Meditatie training en monitoren van slaap en stemming	Onderwijs • Verbeteren van concentratie en werkgeheugen • Meten van mentale vermoeidheid	Gezondheid en welzijn • Kansen om te werken aan verbetering mentale gezondheid • Fysieke gezondheidsrisico's door implantaten	Veiligheid • Kansen voor veiligheid door toepassing in rechtspraak en defensie • Kansen voor veilige werkomgeving • Risico's cybersecurity door hacking
Entertainment • Uitbreiden van immersieve game-ervaring	Werkvloer • Versnellen van visuele beoordeling • Monitoren en verbeteren van concentratie en stressniveau van werknemers	Privacy • Risico's door inbraak in mentale en informationele privacy	Economische vitaliteit • Kansen door neuromarketing
Neuromarketing • Reactie van consument op prijs en productontwerp meten • Aantrekkelijk maken van filmtrailers	Defensie • Verbeteren van emotieregulatie van soldaten • Aansturen van militaire voertuigen	Autonomie en identiteit • Kansen voor zelfontplooiing • Risico's voor mentale integriteit, persoonlijke identiteit en psychologische continuïteit	Democratie • Gebrek aan democratische controle op ontwikkeling en toepassing commerciële neurotechnologie
Rechtspraak • Daderkennis • Inschatten recidiverisico • Leugendetectie	Topsport • Verbeteren van reactiesnelheid en oog-handcoördinatie • Inschatten maximale belasting	Inclusiviteit • Risico dat samenleving minder inclusief wordt • Kansen om neurodivergente mensen te helpen • Risico op toename digitale kloof	Duurzaamheid en dierenwelzijn • Risico's voor duurzaamheid • Risico op dierenleed door testen

Risico's op korte en lange termijn

De belangrijkste kansen en risico's van neurotechnologie lijken grofweg op te delen in twee groepen. Consumenten kunnen nu al hun voordeel doen met draagbare, niet-invasieve beeldvormende neurotechnologie, zoals EEG. De risico's die deze technologie met zich meebrengt ligt in het verlengde van andere dataprivacy discussies, maar gaat een stap verder doordat deze technologie letterlijk en figuurlijk dicht op de huid zit.

Andere neurotechnologieën, zoals invasieve hersenimplantaten, apparaten die de hersenen direct beïnvloeden (moduleren) en niet-draagbare beeldvormende neurotechnologie, bieden meer mogelijkheden om mentale toestanden in beeld te brengen of te beïnvloeden, maar zijn nog sterk in ontwikkeling, vaak minder gebruikersvriendelijk en moeten aan strenge medische richtlijnen voldoen. De brede maatschappelijke risico's van deze neurotechnologieën zijn daarmee van een langere termijn en hogere onzekerheid. Wel zijn ze van een veel ingrijpender aard.

1.4. Beleidsanalyse

Gezien de mogelijke kansen en risico's is het belangrijk met beleid en regulering te anticiperen op de maatschappelijke effecten van neurotechnologie.

Onduidelijkheid van privacywetgeving

Voor de korte termijn gelden risico's die te maken hebben met het verzamelen, opslaan, verwerken en analyseren van neurodata. Hierop zijn met name de Europese AVG en de AI-verordeningen van toepassing. Het is waarschijnlijk dat neurodata en de informatie die eruit afgeleid kan worden over persoonlijke voorkeuren, buiten bepaalde specifieke contexten zoals gezondheid of politiek, onvoldoende beschermd worden door deze wetten. Wanneer de neurodata in de AVG onder de categorie gezondheidsgegevens of bijzondere persoonsgegevens vallen en de privacy van betrokkenen dus extra beschermd wordt, is onduidelijk. Niet-pathologische, emotionele informatie en affectieve mentale toestanden vallen mogelijk buiten deze bescherming.

Daarnaast brengen neurodata inherente uitdagingen mee ten aanzien van de basisvereisten van de AVG: transparantie en geïnformeerde toestemming, proportionaliteit, dataminimalisatie, doelbinding en juistheid. Als de neurodata vervolgens geanalyseerd worden, kan de AI-verordening een rol spelen. Dit geldt echter alleen voor hele specifieke toepassingen, onder voorwaarden die vaak geformuleerd zijn, en waarbij veel uitzonderingen en een regime van zelfbeoordeling gelden. Veel gaat afhangen van de implementatie in standaarden en richtlijnen.

Neurorechten

Op bepaalde punten lijkt het recht tekort te schieten en worden risico's onvoldoende gemitigeerd, vooral wanneer neurotechnologie op grote schaal wordt gebruikt. Het gaat om risico's voor informationele privacy (het beschermen van persoonlijke data) en mentale privacy (het privé houden van alle genoemde mentale toestanden), autonomie en identiteit, fysieke veiligheid en mentale gezondheid, democratie en inclusiviteit.

De huidige neurorechtendiscussie gaat met name over de vraag of alle genoemde mentale toestanden van individuen in het licht van opkomende neurotechnologie voldoende beschermd worden door de huidige nationale, Europese en internationale mensenrechtenkaders. Hierover bestaat nog geen consensus. Ten eerste staat ter discussie of mensenrechtenkaders voldoende kunnen meebewegen met nieuwe omstandigheden die ontwikkelingen van neurotechnologie mogelijk met zich meebrengen, of dat er aanpassingen nodig zijn. Ten tweede bestaat er verschil van inzicht over of er nu al gereageerd moet worden op ontwikkelingen van neurotechnologie die zich mogelijk pas op lange termijn (of zelfs nooit) zullen voordoen (zoals bijvoorbeeld het heimelijk lezen van gedachten). Ten derde is een open vraag wat zwaarder weegt: moeten mensen vrij zijn hun mentale toestanden te verbeteren met behulp van neurotechnologie of dienen ze beschermd te worden tegen inmenging in mentale toestanden van buitenaf?

Handelingsopties voor politici en beleidsmakers

We concluderen dat verschillende beleidsinstrumenten tot op zekere hoogte bescherming bieden tegen risico's voor publieke waarden van neurotechnologie, maar niet volledig. Er zijn verschillende handelingsopties voor het beschermen en realiseren van publieke waarden in relatie tot de korte termijn impact van draagbare, non-invasieve technologie, en de onzekere lange termijn impact van andere neurotechnologieën. Deze worden samengevat in figuur 3: handelingsopties voor beleid.

Figuur 3 Handelingsopties voor risico's van neurotechnologie op korte en lange termijn



2. Technologie en markt

2.1. Introductie

In deze scan geven we duiding aan recente ontwikkelingen rond neurotechnologie om het brein in beeld te brengen of te beïnvloeden. We kijken naar de kansen en risico's die deze technologie meebrengt voor publieke waarden. Hoewel grote beloften rondom neurotechnologie niet nieuw zijn, en er al decennialang flink in geïnvesteerd wordt, ziet het Rathenau Instituut drie belangrijke redenen om juist nu goed in beeld te brengen hoe ver de technologie is, en welke mogelijke invloed de technologie kan krijgen op de samenleving.

Ten eerste zijn er technologische ontwikkelingen. Verbeteringen in meetsystemen maakt het meten van hersenactiviteit gemakkelijker. De snelle ontwikkeling van kunstmatige intelligentie systemen (AI-systemen) zorgt ervoor dat neurodata ook zonder tussenkomst van een professional geanalyseerd en geïnterpreteerd kunnen worden. Hiermee wordt neurotechnologie ook buiten het medische domein toepasbaar, en ontstaan er mogelijkheden om de technologie in te bouwen in veelgebruikte apparaten zoals koptelefoons, oordopjes en AR/VR-brillen. In toenemende mate wordt er neurowetenschappelijk onderzoek gepubliceerd over toepassingen van neurotechnologie in domeinen buiten de zorg, zoals het onderwijs, de rechtspraak, defensie, de werkvloer en voor entertainment.

Ten tweede constateren we dat verschillende (grote en kleine) private partijen op de consumentenmarkt beginnen te investeren in neurotechnologie. Deze bedrijven lijken potentie te zien voor thuisgebruik van deze technologie om bijvoorbeeld mentaal welzijn en de ervaring van *games* te verbeteren.

Tot slot is er een wereldwijde juridisch-ethische discussie gaande over de vraag of het noodzakelijk is om specifieke neurorechten toe te voegen aan de bestaande mensenrechtenkaders.³ De mogelijkheid van neurotechnologie om binnen te dringen in onze binnenwereld en om onze mentale toestanden te beïnvloeden wordt door internationale mensenrechtenorganisaties, zoals de International Bioethics Committee van UNESCO⁴, de Verenigde Naties,⁵ en de Raad van Europa,⁶ gezien als een risico met mogelijke ingrijpende gevolgen. Over de bredere maatschappelijke impact van dergelijke toepassingen is nog niet veel geschreven, en ook bestaat er onzekerheid over hoe de technologie zich verder zal ontwikkelen. Het is echter belangrijk om voorbereid te zijn op maatschappelijke impact van de technologie.

³ Ligthart, Kooijmans, en Meynen, 'Neurorechten', 4 juni 2021.

⁴ UNESCO, First draft the Recommendation on the Ethics of Neurotechnology, 2024.

⁵ Human Rights Council, 'Report of the Special Rapporteur on the Right to Privacy', oktober 2018; Human Rights Council Advisory Committee, 'Impact, opportunities and challenges of neurotechnology with regard to the promotion and protection of all human rights', 8 augustus 2024.

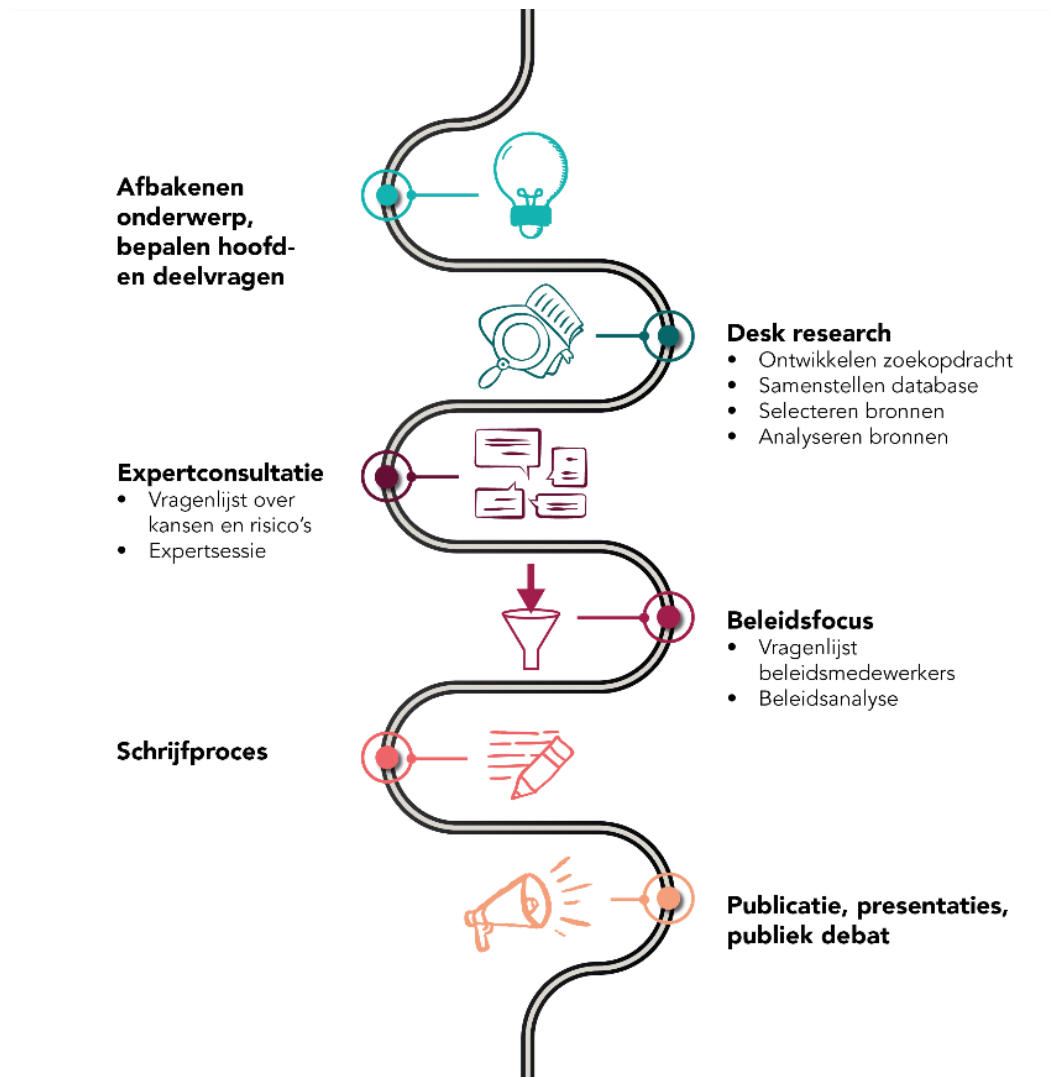
⁶ Ienca, 'Common human rights challenges raised by different applications of neurotechnologies in the biomedical field', 2021.

In deze scan richten we ons op toepassingen buiten het medische domein. Aangezien neurotechnologie tot nu toe voornamelijk in dat domein gebruikt wordt, zijn de medische toepassingen al uitgebreid onderzocht. Er is daarom een relatief helder beeld van de kansen en risico's voor het medische domein, en daarop aansluitende regulering.

In dit eerste hoofdstuk beginnen we met het beantwoorden van de vraag: wat is neurotechnologie? We laten zien hoe neurotechnologie werkt en wat het brengt ten opzichte van andere technologieën. Daarna beschrijven we de huidige markt voor deze technologie. Tenslotte bespreken we de beperkingen en ontwikkeling van neurotechnologie: waar staat de ontwikkeling van de technologie nu, en wat zijn verwachtingen voor de toekomst?

In figuur 4 en Kader 1 lichten we toe welke onderzoeksmethoden we hebben gebruikt.

Figuur 4: Onderzoeksmethoden



Kader 1 Onderzoeksmethoden Rathenau Scan

De bevindingen in deze scan zijn gebaseerd op een onderzoek in drie fasen. Ten eerste is er een database aangelegd voor het uitvoeren van deskresearch. Deze database bestaat uit een selectie van bronnen sinds 2019 en vormen de basis onze beschrijving van de nieuwste ontwikkelingen in verschillende domeinen en de kansen en risico's hiervan voor publieke waarden. Hiervoor zijn drie bronsoorten geraadpleegd: 1) academische literatuur 2) grijze literatuur, waaronder rapporten en journalistieke bronnen en 3) beleidsbronnen.

Ten tweede zijn experts gevraagd te reflecteren op welke kansen en risico's het meest urgent en belangrijk zijn. Negentien Nederlandse neurotechnologie-experts vulden een vragenlijst in over de kansen en risico's gevonden in de literatuur. We vroegen ze welke kansen zich op korte of lange termijn zullen manifesteren, of wellicht helemaal niet. Hierna is tijdens een expertsessie met tien van de geraadpleegde experts doorgepraat over de kansen en risico's waarover de meningen in de vragenlijst verschilden. Zie bijlage A voor een lijst geraadpleegde personen en deelnemers aan de expertsessie.

Ten derde is het beleid in kaart gebracht dat van toepassing is op een aantal geselecteerde kansen en risico's. Onder beleidsmedewerkers van verschillende departementen werd een vragenlijst verspreid over relevante beleidsinstrumenten om kansen te verzilveren en risico's te mitigeren. Deze bevindingen dienden als startpunt voor een beleidsanalyse op basis van verder literatuuronderzoek. Hierin is het Rathenau Instituut bijgestaan door een juridisch expert.

Wat is neurotechnologie?

Neurotechnologie is een paraplueterm voor alle soorten technologie die de activiteit van het centrale zenuwstelsel (waar de hersenen onder vallen) meet of beïnvloedt. Het gaat dus om een breed spectrum aan technologieën, waarbij sommige technologie – zoals EEG – hersensignalen meet door de schedel heen, en andere technologie – zoals Deep Brain Stimulation (DBS) – in de hersenen wordt geïmplanteerd om hersenactiviteit te beïnvloeden.⁷ Neurotechnologie kan dus zowel invasief als niet-invasief zijn, en zowel modulerend (techniek die de hersenactiviteit direct beïnvloedt) als beeldvormend (techniek die hersenactiviteit in beeld brengt) - zie tabel 1.

⁷ In sommige bronnen wordt dit ook wel een hersenchip of microchip genoemd. In deze scan gebruiken we het woord 'implantaat'.

In geraadpleegde literatuur wordt met ‘neurotechnologie’ vaak gerefereerd aan BCI’s: *brain-computer interfaces*.⁸⁹ Een BCI kan worden gezien als technologie die de hersenen verbindt met externe apparatuur; het is de link tussen biologie en technologie.¹⁰ Zo kan met behulp van een BCI de hersenactiviteit van een persoon zichtbaar gemaakt worden op een computer. Bij neuromodulatie werkt het andersom: de BCI zet informatie om in signalen waar je hersenen op reageren.^{11 12}

Tabel 1: Verschillende technieken die neurotechnologie kan omvatten.

	Invasief (in het lichaam)	Non-invasief (buiten het lichaam)
In beeld brengen	Intracortical microelectrode arrays (Intracortical MEAs) Elektrocorticografie (ECoG)	Elektro-encefalografie (EEG) Magneto-encefalografie (MEG) Functional magnetic resonant imaging (fMRI) Functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) Microelectrode arrays (MEAs)
Moduleren	Deep brain stimulation (DBS)	Transcraniële magnetische stimulatie (TMS)

Algemene werking van neurotechnologie

Neurotechnologie heeft over het algemeen als doel om inzicht te krijgen in de mentale toestanden van een individu. Bijvoorbeeld concentratie, aandacht, emoties, gedachten, herinneringen en dromen. Neurotechnologie is een manier om (aspecten van) mentale toestanden in kaart te brengen (althans: zo nauwkeurig mogelijk te benaderen), zodat deze zichtbaar of bruikbaar zijn. Ondanks de grote verschillen tussen technologieën die onder de term ‘neurotechnologie’ vallen, zijn hierbij drie vaste processen te onderscheiden: meten, analyseren en toepassen. In figuur 1 vatten we deze samen.

⁸ Neurotechnologie is volgens de definities die wij hanteren alleen geen BCI wanneer er enkel interactie is met het centrale zenuwstelsel buiten de hersenen of wanneer gemeten hersenactiviteit op een directe wijze wordt weergegeven zonder dat deze geanalyseerd wordt.

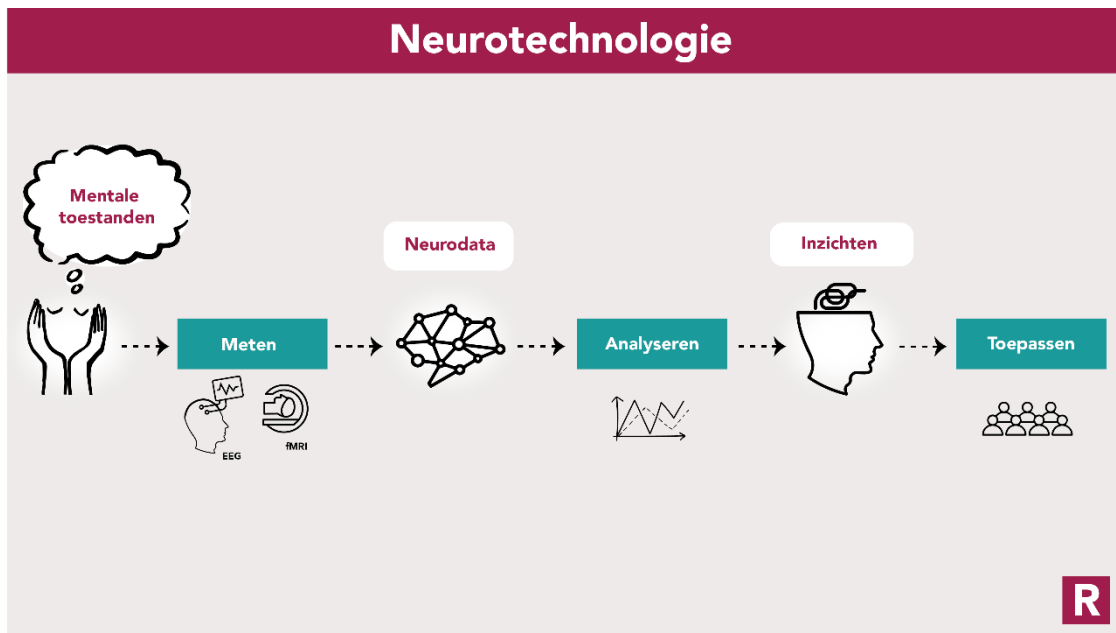
⁹ Soms wordt ook de term ‘brain machine interface’ (BMI) gebruikt.

¹⁰ Andrews, Sultana, en Perdakis, ‘Neurotechnology’, 7 september 2024.

¹¹ Portillo-Lara e.a., ‘Mind the Gap’, 2, september 2021.

¹² Gebaseerd op o.a. Peksa en Mamchur, ‘State-of-the-Art on Brain-Computer Interface Technology’, 28 juni 2023; Brazal e.a., ‘TechDispatch on neurodata’, 6 maart 2024.

Figuur 1: Processen en tussenproducten in neurotechnologie



Meten: Verschillende technieken meten verschillende typen fysiologische activiteit. Om te begrijpen hoe dat gaat, is enige uitleg van de werking van de hersenen noodzakelijk. Hersen- en zenuwcellen (neuronen) maken verbinding met elkaar en met andere delen van het lichaam. Via uitlopers worden prikkels die de zintuigen uit de buitenwereld opvangen naar de hersenen gebracht, en andersom worden signalen uit de hersenen gestuurd om bijvoorbeeld spieren aan te sturen. In verschillende hersengebieden worden signalen verwerkt, opgeslagen en gegenereerd. Zo zijn er gebieden voor spraak, taal, zicht, gehoor, het aansturen van spieren, geheugen, emoties, etc. die zich op verschillende locaties in het brein bevinden. Al deze gebieden staan ook met elkaar in verbinding in complexe netwerken van zenuwcellen. Deze zenuwcellen communiceren, onder andere, met elkaar via elektrische signalen die zich van de ene naar de andere cel(uitloper) verplaatsen.

Veranderingen in elektrische signalen kunnen worden afgelezen met behulp van elektroden. Bij EEG worden de elektroden op de schedel geplaatst. Daarmee kunnen alleen elektrische signalen van hersengebieden aan de oppervlakte van het brein worden gemeten, en het is moeilijk om precies te zeggen uit welke hersengebied een gemeten signaal afkomstig is. Met een EEG kan de hersenactiviteit worden gemeten, bijvoorbeeld tijdens een bepaalde activiteit (lezen, slapen, *gamen*) of als de reactie op een stimulans (een lichtflits).

Andere technieken maken gebruik van andere fysiologische processen in het brein. fMRI meet bijvoorbeeld het zuurstofgehalte in het bloed. Als het zuurstofgehalte in een bepaald hersengebied hoog is, betekent dit dat het de zenuwcellen in dat gebied actief zijn. Dat gebied licht dan op in een visualisatie van de hersenen. Bij fMRI kan alleen

onderzoek gedaan worden naar activiteiten die mensen kunnen doen terwijl ze heel stilliggen in de scanner, zoals het bekijken van afbeelding.

Dit soort biologische activiteit wordt waargenomen met een meetsysteem en omgezet in digitale data. Neurodata zijn dus een digitale representatie van biologische activiteit in de hersenen.

Analyseren: Om bruikbaar te zijn, moeten neurodata door een professional, een consument, en/of een computerprogramma geïnterpreteerd worden. Onderzoekers leggen verbanden tussen een mentale toestand en hersenactiviteit door groepen proefpersonen een taak uit te laten voeren terwijl ze een meting doen met een techniek zoals EEG of fMRI. Bij onderzoek naar angst kijken proefpersonen dan bijvoorbeeld naar enge afbeeldingen afgewisseld met afbeeldingen die niet eng zijn. De neurodata die dan gemeten worden, zijn bij fMRI het hersengebied waar het zuurstofgehalte toeneemt, en bij EEG de golffrequentie. Door dit onderzoek met veel mensen te doen, kunnen er op groepsniveau conclusies getrokken worden over welke hersensignalen gerelateerd zijn aan welke mentale toestanden.

In sommige gevallen zijn de gevonden verbanden goed te generaliseren. Dan kan de neurotechnologie, zonder verdere aanpassing, relatief eenvoudig worden gebruikt om bepaalde mentale toestanden van individuen te meten. Dit geldt bijvoorbeeld voor het vaststellen van hoe wakker iemand is, concentratie, stress, en tot op zekere hoogte emoties met behulp van EEG.

Voor complexere mentale toestanden, waaronder herinneringen en specifieke emotionele toestanden, is het nodig om eerst een verband te kunnen leggen tussen de neurodata en mentale toestanden van die persoon. Hiervoor moeten er dus eerst neurodata verzameld en geanalyseerd worden over die persoon. De ontwikkeling van generatieve AI maakt het mogelijk om hele specifieke verbanden te leggen tussen mentale toestanden van een individu en neurodata. Zo lukte het onderzoekers uit Japan in 2023 om op basis van hersensignalen te reconstrueren wat voor afbeelding proefpersonen te zien kregen terwijl ze in een (fMRI) scanner lagen.¹³ Hiervoor zijn AI modellen getraind met behulp van fMRI scans van vier proefpersonen die 10.000 afbeeldingen te zien hadden kregen. Het model kon vervolgens met vrij grote precisie afleiden wat voor afbeelding proefpersonen te zien kregen, op basis van nieuwe fMRI scans.

Dit is een indrukwekkende stap, maar staat ver af van het lezen van de gedachtestroom waarvan de inhoud van tevoren niet bekend is. Er is namelijk een belangrijke theoretische beperking bij het uit neurodata afleiden van mentale toestanden. Volgens de geraadpleegde experts en literatuur komen mentale toestanden voort uit complexe interacties tussen hersenen, de rest van het lichaam, en de sociale en materiële omgeving.¹⁴ Iemand's daadwerkelijke ervaring is daarmee niet zomaar te reduceren tot

¹³ Nahas, 'AI Re-Creates What People See by Reading Their Brain Scans', 7 maart 2023.

¹⁴ Wolpaw, Millán, en Ramsey, 'Brain-Computer Interfaces', 18, 2020.

hersenenactiviteit. Daarom moeten verwachtingen van neurotechnologieën worden bijgesteld als het gaat om het ontwaren van veel wat wordt geschaard onder mentale toestanden, zoals herinneringen, gedachten of ervaringen. De meeste experts dachten dat het in ieder geval nog zal duren voordat de gedachtestroom met neurotechnologie te benaderen is.

Toepassen: De analyse van neurodata is geslaagd wanneer er nuttige inzichten worden verkregen over mentale toestanden. De toepassingen hiervan zijn grofweg in vier categorieën op te delen, waartussen soms ook enige overlap zit¹⁵

- *Directe toepassing van kennis over mentale toestanden:* Deze inzichten kunnen op individueel niveau iets zeggen over iemands mentale toestanden, of in algemene zin op populatieniveau gebruikt worden om kennis op te doen over hoe de hersenen werken. Om bruikbaar te zijn moeten de inzichten op de een of andere manier worden gepresenteerd of gevisualiseerd. Van inzicht naar toepassing in de praktijk, bijvoorbeeld in neuromarketing of rechtspraak (zie Hoofdstuk 2) vraagt altijd om een interpretatieslag.
- *Neurofeedback:* Bij neurofeedback worden inzichten over mentale toestanden op basis van de analyse van neurodata op zo'n manier gepresenteerd dat de gebruiker het zelf kan interpreteren. De technologie geeft bijvoorbeeld een signaal als de hersenenactiviteit die wordt geassocieerd met concentratie onder een bepaalde waarde komt. Inzicht in de eigen mentale toestanden biedt mogelijkheden om hierop in te spelen (bijvoorbeeld door het nemen van een pauze) en zo te verbeteren.
- *Neuromodulatie:* Bij neuromodulatie beïnvloedt ('moduleert') de neurotechnologie de hersenenactiviteit. In sommige toepassingen gebeurt dit in reactie op de analyse van neurodata van de gebruiker, maar het kan ook zijn dat neurotechnologie enkel moduleert. Neurotechnologie die de hersenen *real-time* beïnvloedt op basis van neurodata, zonder dat er een mens tussen zit, wordt ook wel *closed-loop* neurotechnologie genoemd.
- *Aansturen van een apparaat:* Bij dit type toepassing worden neurodata gebruikt om een apparaat te besturen. Dit kan een computer, een robot of een exoskelet zijn. Een exoskeletten is een apparaat dat als verlengstuk van het lichaam wordt gedragen, denk hierbij aan een prothese zoals aan een arm of been.

2.2. De mogelijkheden en beperkingen van neurotechnologie

Wat brengt neurotechnologie ten opzichte van andere technologieën?

Neurotechnologie wordt in de geraadpleegde grijze en wetenschappelijke literatuur vaak gepresenteerd als een technologie die een uniek kijkje geeft in de hersenen. Het heeft bijgedragen aan vele inzichten over de werking van het brein. Tegelijkertijd vraagt de meerderheid van de door ons geraadpleegde experts zich af in hoeverre neurodata op zichzelf meer inzicht geven in mentale toestanden van een gebruiker dan andere

¹⁵ Brazal e.a., 'TechDispatch on neurodata', 6 maart 2024.

databronnen, zoals webbrowsergegevens of oogbewegingen (*eye tracking*). Zij zien neurodata als een (aanvullende) bron van informatie over mentale toestanden, maar niet als de sleutel tot iemands innerlijke gedachtewereld.

Huidige beperkingen van verschillende technieken

In algemene zin geldt voor neurotechnologie dat het moeilijk is om voldoende signaalsterkte te krijgen om zinvolle inzichten af te kunnen leiden over mentale toestanden van een gebruiker. Bovendien verschilt ieder brein significant, bijvoorbeeld door kleine variaties in schedelopbouw bij elk persoon. Maar ook doordat de breinplasticiteit ervoor zorgt dat iemands patroon van breinactiviteit blijft veranderen. Voor elke nieuwe gebruiker zou de analysemethode het beste werken als deze wordt getraind op de unieke hersenactiviteiten die worden gemeten, maar daarmee wordt neurotechnologie minder gebruiksvriendelijk en schaalbaar.¹⁶

Een belangrijke kanttekening hierbij is dat wat voor de ene toepassing onvoldoende signaalsterkte is, voor een andere toepassing voldoende kan zijn. Een voorbeeld hiervan is het gebruiken van neurodata voor een game-ervaring. De game-ervaring is hier het hoofddoel en niet de analyse van mentale toestanden.

De verschillende typen neurotechnologie kennen bovendien elk hun eigen uitdagingen.¹⁷ We lichten de voor- en nadelen voor toepassingen buiten het medische domein per kwadrant van tabel 1 op pagina 12 kort toe.

Voor **non-invasieve, beeldvormende** neurotechnieken geldt dat de signaalsterkte over het algemeen laag is. Een goede signaalsterkte is essentieel voor neurotechnologie om informatie over mentale toestanden af te leiden. Bij EEG is sprake van een lage ruimtelijke informatiedichtheid: de data die worden verzameld zijn niet gedetailleerd over verschillende delen van de hersenen. Het signaal dat door één elektrode wordt opgevangen is een combinatie van duizenden neuronen (hersencellen). Dat komt doordat bij EEG de elektroden die elektrische signalen in de hersenen meten op de hoofdhuid worden geplaatst. Hiermee kunnen echter alleen signalen uit het oppervlak van de hersenen worden gemeten, en niet uit dieper gelegen hersengebieden. Dit terwijl bepaalde mentale toestanden, bijvoorbeeld emotie, hun oorsprong vinden in dieper gelegen hersengebieden. Non-invasieve technieken die wel hersenactiviteit uit dieper gelegen gebieden in beeld kunnen brengen zijn bijvoorbeeld fMRI of MEG. Dat zijn echter grote en relatief dure apparaten die niet makkelijk in gebruik zijn. Ook heeft fMRI een lage temporele resolutie: de data die worden verzameld geven minder gedetailleerd veranderingen over de tijd weer, wat de toepassing van neurofeedback beperkt, omdat dat *real-time* verwerking en terugkoppeling vereist.

Van de non-invasieve, beeldvormende technologieën heeft EEG de meeste potentie voor grootschalige toepassing buiten het medische domein, omdat deze goedkoop,

¹⁶ Wu, Xu, en Lu, 'Transfer Learning for EEG-Based Brain-Computer Interfaces', maart 2022.

¹⁷ Gebaseerd op Awuah e.a., 'Bridging Minds and Machines', 22 mei 2024, 22 mei 2024. Ze noemen o.a. technische uitdagingen, hoge kosten, uitdagingen met betrekking tot gebruiksgemak, en veiligheidsproblemen. Daarnaast noemen ze ook ethische, sociale en juridische overwegingen die spelen bij neurotechnologie, maar die behandelen we in hoofdstukken 3 en 4 van deze scan.

veilig, en makkelijk te gebruiken te gebruiken is - maar dus wel met een lage signaalsterkte.

Invasieve, beeldvormende neurotechnieken kunnen hersenactiviteit met een hogere resolutie meten, waardoor er meer nuttige informatie over mentale toestanden afgeleid kan worden. Hiervoor geldt echter ook dat de kosten hoog zijn. Implantaten moeten met een operatie in het hoofd geplaatst worden. Dit is nooit zonder risico's, en moet uitgevoerd worden door getraind personeel.

Non-invasieve, modulerende neurotechnologie kan de hersenactiviteit door de schedel heen beïnvloeden. Dit heeft als voordeel ten opzichte van invasieve technologie dat de kosten lager zijn en er geen veiligheidsrisico's bestaan die gepaard gaan met het implanteren. Het is echter moeilijk om met non-invasieve neurotechnologie gebieden diep in de hersenen te moduleren. Daardoor is het niet mogelijk om mentale toestanden die hun oorsprong vinden in hersenactiviteit in dieper gelegen hersengebieden te moduleren.

Invasieve, modulerende neurotechnologie heeft een hogere precisie ten opzichte van niet-invasieve modulerende neurotechnologie en de mogelijkheid om dieper gelegen hersengebieden te bereiken, maar door het implanteren nadelen op het gebied van kosten en veiligheid.

2.3. Huidige ontwikkelingen van neurotechnologie

Een aantal recente technologische ontwikkelingen maken dat neurotechnologie ook voor toepassingen buiten het medische domein steeds interessanter wordt. De bredere inzetbaarheid van neurotechnologie in de toekomst komt volgens experts vooral door verbetering van de analysemethoden. Ten eerste wordt er zoals eerder genoemd toenemend gebruik gemaakt van AI-modellen, zoals kunstmatige neurale netwerken in de analyse van neurodata. Hierover is veel onderzoek gaande.¹⁸ Zo kan met AI-modellen meer nuttige informatie afgeleid worden over mentale toestanden van een gebruiker, bijvoorbeeld omdat ruis beter uit neurodata gefilterd kan worden. Ook gaan de analyses sneller, wat cruciaal kan zijn voor nagenoeg directe of *real time* reactie op hersenactiviteiten.

Ten tweede kan generatieve AI¹⁹ de capaciteit van neurotechnologie vergroten om emoties, herinneringen, of zelfs gedachten af te leiden door hersensignalen om te zetten in taal.²⁰ Dit maakt de informatie die uit neurodata wordt afgeleid veel toegankelijker voor gebruikers.

Ten derde zien verschillende experts potentie in de combinatie van neurodata met andere data zoals internetgegevens en *eye tracking*, met name om inzichten te verwerven over gedrag op groepsniveau. Zo kan neurotechnologie worden gebruikt om meer te weten te komen over de voorkeuren en beslissingen van

¹⁸ Peksa en Mamchur, 'State-of-the-Art on Brain-Computer Interface Technology', 14, 28 juni 2023.

¹⁹ Systemen zoals ChatGPT die geautomatiseerd content kunnen maken op verzoek van een gebruiker. Zie ook onze eerdere scan over generatieve AI: Rathenau Instituut, 'Rathenau Scan: Generatieve AI', 2023.

²⁰ Wang en Chen, 'Large-scale foundation models and generative AI for BigData neuroscience', 17 juni 2024.

onderzoeksdeelnemers die browsen op het internet.²¹ Door advertenties af te stemmen op hersenactiviteit kunnen ze geoptimaliseerd worden door in te spelen op mogelijke emoties die in neurodata waargenomen zijn.

Op het gebied van meetsystemen zien we dat de signaalkwaliteit van zogenaamde droge elektrodes voor EEG de laatste jaren verbeterd is.²² Een probleem voor de gebruiksvriendelijkheid van EEG was dat er een gel op het hoofd aangebracht moest worden om de signaalsterkte te verbeteren. Met de recente ontwikkeling van 'droge EEG' is dit niet altijd meer nodig, wat gebruik door consumenten en professionals buiten een medische setting aantrekkelijker maakt.

Ook voor invasieve meetsystemen wordt gewerkt aan verbetering. Onder andere door het materiaalgebruik te onderzoeken om langdurig veilig gebruik van implantaten te verbeteren.²³ Met nanotechnologie zou neurotechnologie ontwikkeld kunnen worden die op heel nauwkeurige wijze op de hersengebieden is afgestemd.²⁴ Ook zijn onderzoekers in de synthetische biologie bezig om een hersenimplantaat te ontwikkelen dat (deels) van organisch materiaal gemaakt is en daardoor minder snel door het lichaam wordt afgestoten.²⁵

2.4. Door wie wordt neurotechnologie ontwikkeld?

Het is goed te realiseren dat de hierboven beschreven commerciële ontwikkeling van neurotechnologie voor consumenten nieuw is en nog een nichemarkt vormt is, maar dat neurotechnologie een langere geschiedenis kent binnen het medische en het wetenschappelijke domein. Het is in 2024 honderd jaar geleden dat er voor het eerst bij mensen onderzoek met EEG werd gedaan.²⁶ Ook tegenwoordig is de ontwikkeling van neurotechnologie nog steeds hoofdzakelijk gericht op het medische en het wetenschappelijke domein. Verschillende analisten schatten de neurotechnologiemarkt (inclusief het medische domein) voor verkoop van BCI en de onderliggende technologie op een waarde van rond de 10 miljard of hoger en verwachten een groei tot 31-39 miljard in 2033.²⁷ Deze schattingen gaan wel met significante onzekerheden gepaard.²⁸

De ontwikkeling van neurotechnologie binnen het medische en wetenschappelijke domein wordt voor een belangrijk deel gefinancierd met publiek geld. Zo werden er het afgelopen decennium een aantal grootschalige onderzoeksprojecten uitgevoerd – denk aan honderden onderzoekers over verschillende landen – met neurotechnologie in de hoofdrol. Net afgerond zijn het Europese Human Brain Project, het Amerikaanse BRAIN

²¹ Loyola e.a., 'Leveraging Neurodata to Support Web User Behavior Analysis', 8 november 2016.

²² Saha e.a., 'Progress in Brain Computer Interface', 25 februari 2021. p. 10

²³ Fiani e.a., 'An Examination of Prospective Uses and Future Directions of Neuralink', 30 maart 2021; Saha e.a., 'Progress in Brain Computer Interface', 25 februari 2021.

²⁴ Acarón Ledesma e.a., 'An Atlas of Nano-Enabled Neural Interfaces', 14, juli 2019.

²⁵ Sun e.a., 'Living Synthelectronics', 2024.

²⁶ Haas, 'Hans Berger (1873–1941), Richard Caton (1842–1926), and Electroencephalography', 1 januari 2003.

²⁷ Precedence Research, 'Neurotechnology Market Size To Hit USD 38.17 Bn By 2032', december 2022; Coherent Market Insights, 'Global Neurotech Devices Market Size and Share Analysis - Growth Trends and Forecasts (2024-2031)', februari 2024; Research and Markets, 'Neurotechnology Research Report 2024', 30 januari 2024.

²⁸ Ramsey, 'Chapter 1 - Human brain function and brain-computer interfaces', 1 januari 2020.

Initiative en het China Brain Project.²⁹ Het Human Brain Project zorgde voor brede wetenschappelijke vooruitgang van de (medische) neurowetenschappen, het digitaal in kaart brengen van het brein, maar ook van op het brein geïnspireerde AI-modellen en robotica. Als vervolg hiervan wordt gewerkt aan een Europese infrastructuur om neurodata en kennis over de hersenen breed te kunnen delen tussen onderzoekers (EBRAINS).³⁰ Steeds meer private investeringen. Over het algemeen valt te stellen dat de neurotechnologiemarkt buiten het medische domein op dit moment nog klein is en eigenlijk nog geen commercieel succesvolle toepassing kent. Tegelijkertijd lijkt de markt wel in beweging te zijn: er zijn bedrijven en organisaties die significante investeringen in neurotechnologie doen en hoge verwachtingen uitspreken voor de manier waarop neurotechnologie kan worden toegepast in de toekomst. Deze beloften worden ook door de media opgepikt.

In de afgelopen vijftien jaar zien we op de markt een toename in hoofdzakelijk EEG-headsets die consumenten kunnen aanschaffen voor verschillende doeleinden. De NeuroSky Mindwave³¹ de Muse S Headband³² en hoofdbanden van Emotiv³³ beloven het welzijn of de concentratie van gebruikers te verbeteren. Voor rond de 200 euro kun je een eigen EEG-apparaat aanschaffen. Ook grotere technologiebedrijven beginnen zich te roeren in deze markt: Apple vroeg in januari 2023 een patent aan voor op maat gemaakte oordopjes met EEG-sensoren.³⁴ Meta's in september 2024 aangekondigde AR-bril Orion wordt verbonden aan een 'neuroarmband' waarmee armbewegingen gemeten kunnen worden die de AR-bril aansturen via elektromyografie (EMG).³⁵ Hoewel het de vraag is of dit echt neurotechnologie is, laat het wel zien dat deze markt voor Meta interessant is.

Zander Labs, dat een kantoor in Delft heeft, ontvangt financiering van de Cyberagentur, het Duitse agentschap voor cybersecurity. Op de website van Zander wordt gesteld:

*“Door gebruik te maken van het vermogen van passieve BCI's om op de achtergrond te werken zonder actieve tussenkomst van de gebruiker, creëren we oplossingen die naadloos gebruik maken van menselijke mentale toestanden. Deze benadering transformeert alledaagse interacties met technologie en bevordert de training van de volgende generatie menscompatibele AI-systemen.”*³⁶

Het is belangrijk te benadrukken dat dit soort startups die werken aan de integratie van AI-systemen en BCI's zich in een pionierende onderzoeksfase bevinden. Tegelijkertijd zijn het soms grote investeerders die geld steken in de bredere ontwikkeling van de

²⁹ Human Brain Project, 'Human Brain Project', 2017; National Institutes of Health: The BRAIN Initiative, 'The Brain Research Through Advancing Innovative Neurotechnologies® (BRAIN) Initiative', 2025 2013; Normile, 'China Bets Big on Brain Research with Massive Cash Infusion and Openness to Monkey Studies', 2022.

³⁰ EBRAINS, 'EBRAINS', 2023.

³¹ Neurosky, 'Neurosky.Com', 2025.

³² Muse, 'Muse™ EEG-Powered Meditation & Sleep Headband', 2024.

³³ EMOTIV, 'About EMOTIV', 2025.

³⁴ Azemi e.a., Biosignal Sensing Device Using Dynamic Selection of Electrodes, 9 januari 2023.

³⁵ Stein, 'I Wore Meta's Orion AR Glasses', 25 september 2024; META, 'Fb.Com', 25 september 2024.

³⁶ Vertaling van "By harnessing the ability of passive BCIs to work in the background without active user intervention, we are creating solutions that seamlessly tap into human mental states. This approach transforms everyday interactions with technology and advances the training of the next generation of human-compatible AI systems." Zander Labs, 'zanderlabs.com/', 2025.

technologie. Een aantal van deze grote investeerders zijn Meta, Microsoft, Precision Neuroscience, Blackrock Neurotech en Neuralink.

De drie laatstgenoemde bedrijven investeren (ook) in invasieve technologie. Neuralink maakte in 2024 bekend dat het succesvol een BCI had geïmplantéerd bij een verlamde man, die daarmee een computer kon aansturen. Dit leidde tot wisselende reacties over het behaalde resultaat. Ook werd kritiek geuit op de onconventionele en weinig transparante manier van het delen van bevindingen. De ambitie van Neuralink gaat verder dan het herstellen van vermogens van verlamde personen, getuige de missie van Neuralink: “Create a generalized brain interface to restore autonomy to those with unmet medical needs today and *unlock human potential tomorrow*.”³⁷

De ambities van grote technologiebedrijven laten zien dat de commerciële industrie serieus investeert in de ontwikkeling van neurotechnologie. Dit heeft als gevolg dat de ontwikkelingen ervan niet alleen is voorbehouden aan het academische domein. De stappen van technologiebedrijven worden daarom door een breder maatschappelijk publiek gevolgd.³⁸

2.5. Conclusie

Neurotechnologie belooft op unieke wijze mentale toestanden van mensen in kaart te brengen en beïnvloeden, maar kent ook nog steeds technische beperkingen. Toch zien steeds meer private partijen potentie in de toepassing van neurotechnologie buiten het medische domein. Verschillende technische ontwikkelingen hebben daaraan bijgedragen, zoals de ontwikkeling van droge EEG en de ontwikkeling van analysemethoden met behulp van AI-systemen. Hierdoor is het voor leken mogelijk om op een laagdrempelige manier gebruik te maken van EEG.

De specifieke toepassingen die hiermee mogelijk worden bespreken we in Hoofdstuk 2. De neurotechnologie met de meeste potentie om op korte termijn door te dringen in verschillende domeinen van de samenleving zijn draagbare, non-invasieve beeldvormende neurotechnologieën, zoals EEG.

Over de mogelijkheid om op een betekenisvolle manier complexe mentale toestanden zoals gedachten af te lezen of te beïnvloeden bestaat nog veel onzekerheid en bovendien ook scepsis bij experts. Hoogstwaarschijnlijk zijn hiervoor invasieve of niet-draagbare apparaten nodig zoals een fMRI-scanner, gecombineerd met gepersonaliseerde analyse van de neurodata. En zelfs dan lijken er grenzen te zijn aan wat er uit neurodata kan worden afgeleid. Omdat de gevolgen van het gebruik van neurotechnologie mogelijk ingrijpend zijn, is er op internationaal niveau een juridisch-ethische discussie ontstaan over de vraag of specifieke neurorechten noodzakelijk zijn. In hoofdstuk 4 gaan we verder in op deze discussie.

³⁷ Neuralink, ‘Neuralink — Pioneering Brain Computer Interfaces’, 2025.

³⁸ Hart, ‘Experts Criticize Elon Musk’s Neuralink Over Transparency After Billionaire Says First Brain Implant Works’, 26 februari 2024.

3. Mogelijke toepassingen van neurotechnologie

3.1. Introductie

In het vorige hoofdstuk lieten we zien dat neurotechnologie op verschillende manieren kan worden toegepast. De kennis die neurotechnologie oplevert over onze mentale toestanden kan direct worden gebruikt, en de technologie kan ook worden ingezet voor neurofeedback, neuromodulatie of het aansturen van een computersysteem. In dit hoofdstuk gaan we dieper in op toepassingen binnen verschillende domeinen, waarbij we zowel de huidige stand van zaken bespreken als mogelijke toekomstige toepassingen waar onderzoek naar wordt gedaan.

Voor veel van de toepassingen in dit hoofdstuk is het belangrijk dat de apparaten draagbaar en eenvoudig te gebruiken zijn. Dit geldt vooral voor neurotechnologie die wordt aangeboden aan consumenten. Daarom werken veel van de toepassingen die nu te koop worden aangeboden of waar onderzoek naar wordt gedaan met ‘droge’ EEG-metingen die ingebouwd worden in bestaande hardware.

Op het gebied van neuromodulatie en invasieve neurotechnologie beperken de toepassingen zich vooralsnog tot het medische domein. De in dit hoofdstuk genoemde toepassingen hiervan worden ontwikkeld en getest in een gecontroleerde onderzoekssetting en niet in de ‘echte’ wereld. Toepassing buiten het medische domein is niet op korte termijn te verwachten, vanwege veiligheidsrisico's, hoge kosten, en technische uitdagingen.

De toepassingen die in dit hoofdstuk worden genoemd zijn besproken in de geselecteerde bronnen voor het uitvoeren van de deskresearch. Om tot een selectie van bronnen te komen hebben we zoekopdrachten uitgevoerd met verschillende zoekmachines. Er zijn twee bronsoorten geselecteerd om te bekijken welke recente toepassingen bestaan en waar onderzoek naar wordt gedaan. Bronnen uit academische literatuur zijn gevonden met behulp van zoekmachines Google Scholar en Pubmed. Met name reviewstudies maken onderdeel uit van de selectie omdat in dit type publicatie meerdere onderzoeken worden beschreven. Grijze literatuur, waaronder journalistieke bronnen en rapporten zijn gevonden in de krantendatabase van LexisNexis en met de zoekmachine Google. We hebben ervoor gekozen om bronnen te selecteren vanaf 2019 omdat hierin de meest recente ontwikkeling wordt besproken. Wanneer in een bron uit de database werd verwezen naar een bron die nog niet opgenomen was in de database is die bron toegevoegd aan de selectie.

Onze deskresearch laat toepassingen zien in de volgende domeinen: voor persoonlijk gebruik, marketing, rechtspraak, onderwijs, binnen de werkomgeving, waaronder voor defensie en binnen de topsport. In figuur 5 toepassingen van neurotechnologie is een overzicht te vinden.

Figuur 5: Toepassingen van neurotechnologie



Neurotechnologie voor persoonlijk gebruik: welzijn en entertainment

Welzijn

Er zijn al enkele consumentenproducten op de markt die beloven gebruikers beter inzicht te geven in hun mentale gezondheid en aangrijpingspunten geven om hieraan te werken. Hiermee zou voorkomen kunnen worden dat gebruikers in het publieke zorgsysteem terecht komen met problemen als bijvoorbeeld stress, angst of agressie. De huidige toepassingen maken gebruik van een hoofdband om een EEG-sigitaal te meten. Voorbeelden zijn NeuroSky³⁹ en Muse⁴⁰ die ondersteuning bieden bij meditatie door *real-time* een signaal te geven als de gebruiker afgeleid is. Ook beloven deze apparaten inzicht in slaapconditie en stemming.

Entertainment

Games ontwikkeld voor entertainment zijn één van de meest actieve domeinen waarbinnen neurotechnologie wordt ontwikkeld.⁴¹ Met neurotechnologie kan de toewijding van spelers een onderdeel van het spel worden. Neurodata worden gebruikt om emoties van spelers te meten, om duizeligheid en *cybersickness* van VR-brillen te verminderen, of zelfs om een spel mee te besturen.

³⁹ Neurosky, 'Neurosky.Com', 2025.

⁴⁰ Muse, 'Muse™ EEG-Powered Meditation & Sleep Headband', 2024.

⁴¹ Portillo-Lara e.a., 'Mind the Gap', september 2021.

Eén van de eerste neurotechnologie-spellen was Mindflex, ontwikkeld door Mattel en NeuroSky, op de markt sinds 2009. In dat spel kunnen spelers een bal besturen met behulp van een EEG-hoofdband.⁴² Andere *gaming*-toepassingen zijn MindRDR⁴³ waarbij spelers de snelheid van hun avatar kunnen besturen met een EEG. Hoe groter de gemeten betrokkenheid bij het spel, hoe sneller de avatar gaat bewegen.⁴⁴ Onderzoekers van het Future of Privacy Forum verwachten dat koptelefoons in de toekomst toegerust zullen worden met EEG-sensoren voor *gaming*, en dat in de toekomst volledig immersieve spellen ontwikkeld zullen worden die spelers kunnen aansturen met mentale toestanden zoals concentratie.⁴⁵ Hoewel onduidelijk is of concentratie -zoals de spelontwikkelaar ons wil doen geloven- daadwerkelijk hetgeen is wat gemeten wordt door de sensor, is minder onzeker dat EEG-metingen onderdeel gaan uitmaken van het spel. De ervaring van *gamers* zullen hiermee sowieso veranderen.⁴⁶

Neuromarketing

Met beeldvormende neurotechnologie zoals fMRI en EEG wordt hersenactiviteit gemeten die in verband wordt gebracht met de aandachtspanne en bijvoorbeeld het ervaren van plezier en pijn. Daarmee proberen marketingonderzoekers de effectiviteit van marketingtools te vergroten, en het koopgedrag van consumenten te beïnvloeden.⁴⁷ Beïnvloeding of neuromarketing is vooralsnog moeilijk te doen op individueel niveau, maar marketing kan wel worden geoptimaliseerd op groepsniveau. Dat betekent dat een marketingstrategie op basis van neurowetenschappelijke inzichten op groepsniveau wordt aanpast, waardoor de groep mensen die hieraan wordt blootgesteld gemiddeld gezien sterker reageert. Dit kan gebruikt worden om producten te verkopen maar bijvoorbeeld ook om stemgedrag te beïnvloeden. Om consumentengedrag op individueel niveau beter te begrijpen worden hersenmetingen gecombineerd met andere gegevens, zoals *eye tracking*, hartslagfrequentie en elektrische geleiding in de huid (gerelateerd aan stressniveau). Al deze signalen worden in verband worden gebracht met de ervaring van plezier of pijn bij het doen van een aankoop.⁴⁸

Neuromarketing wordt met name toegepast op drie gebieden:

1. om te testen hoe een prijs het beste aan consumenten kan worden getoond;
2. om te onderzoeken op welk product(ontwerp) mensen positief of negatief reageren;
3. en voor het aantrekkelijk maken van filmtrailers.⁴⁹

⁴² Neurosky, 'Store.Neurosky.Com/Products/Mindflex', 2025.

⁴³ MindRDR, 'MindRDR', 2025.

⁴⁴ Peksa en Mamchur, 'State-of-the-Art on Brain-Computer Interface Technology', 28 juni 2023; MindRDR, 'MindRDR', 2025.

⁴⁵ Greenberg e.a., 'Privacy and the connected mind. Understanding the data flows and privacy risks of brain-computer interfaces', 2021.

⁴⁶ Wolpaw et al., 2020, p. 20

⁴⁷ Portillo-Lara e.a., 'Mind the Gap', september 2021; Rawnaque e.a., 'Technological Advancements and Opportunities in Neuromarketing', 21 september 2020.

⁴⁸ In Nederland zijn Neurensics en Unravel marketingbureau's die gebruik maken van neurodata om campagnes te verbeteren: Neurensics, 'Campagne Pretest in het Brein | Reclame onderzoek | Verhoog ROI met fMRI', 2022; Unravel, 'unravelresearch.com', 2025.

⁴⁹ Hasson e.a., 'Intersubject Synchronization of Cortical Activity During Natural Vision', 12 maart 2004.

Een aantal deelnemers aan de expertsessie vroeg zich echter af of hersenmetingen in het voorspellen of beïnvloeden van consumentengedrag daadwerkelijk van toegevoegde waarde zijn ten opzichte van andere metingen. Het testen van marketinguitingen met een A/B-test waarbij verschillende versies van een reclame worden voorgelegd aan proefpersonen, bijvoorbeeld via een online vragenlijst kan ook al veel inzicht opleveren. Bovendien zijn zulke alternatieven vaak veel goedkoper en toegankelijker voor marketeers die geen specialisatie hebben in het interpreteren van neurodata.

Rechtspraak

De analyse van neurodata kan interessant zijn in de opsporingsfase van strafzaken. De analyse van neurodata zou inzicht kunnen geven in een herinnering, in de vraag of een verdachte of ondervraagde de waarheid spreekt, of in daderkennis – bijvoorbeeld of iemand het gebruikte wapen herkent.

Ook voor het inschatten (en verminderen) van het risico op een recidive na vrijlating kan neurotechnologie worden gebruikt. Deze toepassingen worden, voor zover voor ons bekend, wereldwijd vooralsnog nergens gebruikt in de praktijk, maar de mogelijkheid ervan wordt wel onderzocht.⁵⁰

In een experimentele opzet is aangetoond dat met fMRI specifieke patronen gemeten kunnen worden die wijzen op liegen.⁵¹ Er wordt ook kritiek geuit op deze methode, omdat leugens – net als bij de ‘klassieke’ leugendetector, niet direct worden afgeleid. In plaats daarvan worden patronen van hersensignalen gemeten die ook kunnen samenhangen met andere mentale toestanden, zoals bij het formuleren van een antwoord. Bovendien is deze methode alleen onderzocht op groepsniveau en wordt deze niet betrouwbaar geacht op individueel niveau.⁵²

Onderwijs

Er zijn aanwijzingen uit onderzoek dat neurofeedback kan bijdragen aan onderwijs. Zo is aangetoond dat EEG-aangedreven BCI's een positief effect hebben op concentratie, werkgeheugen en andere cognitieve vaardigheden van studenten met een ontwikkelingsbeperking.⁵³ Ook kan EEG worden gebruikt om cognitieve overbelasting en mentale vermoeidheid te meten en het effect daarvan op leerprestaties.⁵⁴ Leerlingen dragen dan een EEG-hoofdband en krijgen een terugkoppeling als er hersensignalen worden gemeten die wijzen op vermoeidheid. Directe feedback op basis EEG-metingen worden ook gebruikt bij onderzoek naar het verbeteren van het leren van bijvoorbeeld wiskunde of talen, en om concentratie te verhogen.⁵⁵ In dat geval voeren leerlingen een

⁵⁰ Bijlsma e.a., 'Kansen En Risico's van de Toepassing van Neurotechnologie in Het Strafrecht', 4 mei 2022.

⁵¹ Farah e.a., 'Functional MRI-Based Lie Detection', februari 2014.

⁵² Farah e.a.; Ganis, 'Deception detection using neuroimaging', 2015; Gamer, 'Mind reading using neuroimaging', 2014.

⁵³ Awuah e.a., 'Bridging Minds and Machines', 22 mei 2024, 22 mei 2024.

⁵⁴ Portillo-Lara e.a., 'Mind the Gap', september 2021.

⁵⁵ Peksa en Mamchur, 'State-of-the-Art on Brain-Computer Interface Technology', 28 juni 2023; Taya e.a., 'Brain Enhancement through Cognitive Training', 1 april 2015.

taak uit terwijl met EEG wordt gemeten of de hersensignalen overeenkomen met de signalen die geassocieerd worden met leren.

De genoemde resultaten uit onderzoek naar toepassingen in het onderwijs berusten vaak op kortlopende studies met kleine groepen leerlingen, maar toch denken onderzoekers dat neurofeedback in de toekomst ook kan worden gebruikt om het leerprogramma aan te passen aan de leerprestaties en - behoeften van de individuele scholieren of studenten.

Werkomgeving

In werkomgevingen waarin werknemers in hoog tempo veel snelle beslissingen moeten nemen kan geprofiteerd worden van inzichten uit EEG. Een toepassing die ontwikkeld wordt door InnerEye kan werk versnellen waarvoor visuele beoordeling nodig is. Het bedrijf gebruikt EEG gebruikt om de eerste reactie in de hersenen van een expert die beelden monitort te 'vangen' en te gebruiken voor de beoordeling van die beelden (bijv. het herkennen van vuurwapens op röntgenbeelden van de beveiliging op een vliegveld of tumoren in medische scans).⁵⁶ Het idee van de ontwikkelaars is dat de tijd per beoordeling van scans daarmee drastisch ingekort kan worden en dat het werktempo verhoogt. Deze techniek wordt nu op pilotbasis in een handvol vliegvelden over de wereld onderzocht.⁵⁷

Onderzoeksresultaten wijzen op de toegevoegde waarde van neurofeedback om de concentratie of het stressniveau van werknemers te monitoren en te verbeteren. Dit zou de veiligheid op de werkvloer ten goede kunnen komen. Een voorbeeld is Smartcap⁵⁸, een bedrijf dat EEG-hoofdbanden ontwikkelt die kunnen worden gemonteerd in helmen of andere hoofddeksele en een alarm afgeeft als een vrachtwagenchauffeur of fabrieksmedewerker aan het indutten is. Andere systemen met hetzelfde doel combineren EEG met *eye tracking*. Onderzoekers verwachten dat dit gebruikt kan worden om het aantal ongelukken te verminderen.⁵⁹ Bioinformaticabedrijf Emotiv⁶⁰ ontwikkelt headsets die werknemers kunnen gebruiken om hun individuele stressniveau, concentratie en afleiding te meten en daarmee hun productiviteit en welzijn te verhogen.⁶¹ AttentiveU gebruikt voor hetzelfde doel een bril.⁶²

Defensie

In het militaire domein zou neurofeedback mogelijk kunnen worden ingezet om bijvoorbeeld de prestaties van soldaten te verbeteren. In Nederland vond bijvoorbeeld

⁵⁶ 'Inner Eye | Supercharge Complex', 2025.

⁵⁷ Ackerman en Strickland, 'Are You Ready for Workplace Brain Scanning?', 19 november 2022.

⁵⁸ Wenco, 'Wencomine.Com/Our-Solutions/Safety', 2025.

⁵⁹ Portillo-Lara e.a., 'Mind the Gap', september 2021; Greenberg e.a., 'Privacy and the connected mind. Understanding the data flows and privacy risks of brain-computer interfaces', 2021.

⁶⁰ EMOTIV, 'About EMOTIV', 2025.

⁶¹ Bijvoorbeeld BAM: "BAM Nuttall, the British subsidiary of the Dutch Royal BAM Group, which employs well over twenty-five thousand people in its civil engineering and construction divisions, equipped many of its civil engineering and construction divisionis, equips many of its employees with SmartCap gear BAM Nuttall, 'BAM Nuttall and SmartCap Technologies Collaborate to Monitor Construction Workers Fatigue Levels | Koninklijke BAM Groep / Royal BAM Group', 16 februari 2017; Farahany, *The Battle for Your Brain*, 44, 2023.

⁶² AttentivU, 'AttentivU.Com', 2025.

het onderzoek *Amygdala Neurofeedback in Military Aggression* (ANiMA) plaats waarin soldaten werden getraind om hun emoties beter onder controle te houden en daarmee agressie te verminderen.⁶³ Hierbij werden soldaten gevraagd om te kijken naar plaatjes die agressie kunnen opwekken terwijl zij in een fMRI-scanner lagen en de activatie van de amygdala – het hersengebied dat in verband wordt gebracht met emoties en agressie – werd gemeten. Een onlangs verschenen proefschrift over dit onderzoek concludeert dat fMRI van de amygdala *geen* voorspellende waarde oplevert voor agressie en dat de meerwaarde van amygdala neurofeedback met functionele MRI gering is.⁶⁴

De Amerikaanse Defence Advance Research Projects Agency (DARPA) kondigde in 2021 aan dat ze 104 miljoen dollar investeren in een programma om een non-invasieve BCI te ontwikkelen waarmee soldaten drones en andere voertuigen kunnen besturen tijdens militaire operaties. Zo kunnen soldaten effectief meerdere systemen tegelijk aansturen.⁶⁵ Er wordt gespeculeerd over de interesse van China in militaire toepassingen van BCI, maar er is weinig informatie beschikbaar over het Chinese innovatiebudget en -uitgaven ten aanzien van neurotechnologie.⁶⁶

Topsport

Uit de desk research kwamen een aantal studies naar voren waaruit blijkt dat neurofeedback de prestaties van topsporters mogelijk kan verbeteren.⁶⁷ Verschillende onderzoeken laten verbetering zien van de prestaties van golfers, boogschutters en de reactietijd en oog-hand coördinatie van verschillende typen atleten, waaronder voetbalkeepers. Ook kan neurofeedback worden gebruikt om de maximale belasting van sporters in te schatten en zo blessures te voorkomen.⁶⁸

Een voorbeeld: het Canadese langebaanschaatsteam dat meedeed aan de Olympische winterspelen in Vancouver trinden op reactiesnelheid met behulp van biofeedback, waaronder EEG-meting.⁶⁹ De biofeedback werd gebruikt om te onderzoeken wanneer hersensignalen die wijzen op een auditieve response (de schaatser *hoort* het startschot) synchroon lopen met hersensignalen die wijzen op een motorische reactie (de schaatser komt in beweging). Zo kan voor individuele sporters worden bepaald wat voor hun de beste methode is om in de optimale mentale instelling (bijvoorbeeld de juiste verhouding tussen alertheid, concentratie en ontspanning) te komen voorafgaand aan de start.

⁶³ Brain Research and Innovation Centre, 'ANiMA', 18 september 2019.

⁶⁴ Varkevisser, 'Digging for Fool's Gold', 27 september 2024.

⁶⁵ Greenberg e.a., 'Privacy and the connected mind. Understanding the data flows and privacy risks of brain-computer interfaces', 2021.

⁶⁶ Livanis e.a., 'Understanding the Ethical Issues of Brain-Computer Interfaces (BCIs)', april 2024.

⁶⁷ Rydzik e.a., 'The Use of Neurofeedback in Sports Training', 14 april 2023; Corrado e.a., 'Improving Mental Skills in Precision Sports by Using Neurofeedback Training', 29 februari 2024.

⁶⁸ Hammond, 'What Is Neurofeedback', oktober 2011.

⁶⁹ Harvey e.a., 'Biofeedback Reaction-Time Training', 1 januari 2011.

Ondanks de vele onderzoeken naar verschillende neurofeedback toepassingen om de prestatie van topsporters te verbeteren, en de positieve uitkomsten van dit onderzoek, wordt neurofeedback nog niet veelvuldig gebruikt door sporter, trainers of coaches.

3.2. Conclusie

Voor onze desk research zijn tientallen reviewstudies geraadpleegd over de verschillende hierboven besproken domeinen zoals voor welzijn en entertainment, voor marketing, de rechtspraak en in de werkomgeving, waaronder defensie voor topsport. Er wordt veel onderzoek uitgevoerd naar verschillende niet-medische toepassingen van neurotechnologie, maar de meeste toepassingen bevinden zich nog in een experimentele fase. Verschillende onderzoeken die in kleine groepen in gecontroleerde omstandigheden zijn uitgevoerd, laten zien dat neurotechnologieën van toegevoegde waarde zouden kunnen zijn. Ondanks dat sommige van deze onderzoeken al meer dan tien jaar oud zijn, hebben de toepassingen hun weg naar de praktijk vaak niet weten te vinden. Mogelijk zijn de onderzochte methoden nog niet toegerust op gebruik in de (weerbarstige) praktijk, zijn ze te duur of ingewikkeld of is de praktijk (nog) te conservatief en staan ze niet open voor zulke innovatieve methoden.⁷⁰

Van de draagbare neurotechnologie die nu beschikbaar is op de consumentenmarkt zijn de effecten op welzijn nog niet aangetoond. Het gebruik van EEG in de *gaming*-industrie lijkt vooralsnog vooral een gimmick te zijn. Met non-invasieve methoden zoals EEG is de signaalsterkte laag en is er veel ruis. Wel wordt er onderzoek gedaan naar de toepassing van AI-systemen om ruis te onderdrukken, en om neurodata *real-time* te combineren met de verzameling van andere data zoals *eye tracking*, klikgedrag, hartslag en ademfrequentie. Deze ontwikkeling zou op korte termijn de kwaliteit van de inzichten uit draagbare neurotechnologie kunnen verbeteren. De verwachting is dat dit type toepassing de komende jaren terrein zal winnen bij consumenten thuis.

4. Kansen en risico's voor publieke waarden

4.1. Introductie

In het vorige hoofdstuk beschreven we de verschillende toepassingen van neurotechnologie die worden ontwikkeld en onderzocht in verschillende domeinen. Nu laten we zien tot welke kansen en risico's voor publieke waarden dit kan leiden. Hierin nemen we mee met welke zekerheid en termijn deze kansen zich zullen voordoen. Om tot deze analyse te komen, maakten we gebruik van desk research. De hieronder beschreven kansen en risico's zijn genoemd in een van de bronnen opgenomen in onze database. We vroegen verschillende neurotechnologie-experts middels een open vragenlijst om de door ons in de literatuur geïdentificeerde kansen en risico's te duiden. Ook legden we ze de zekerheid waarmee en termijn waarop geïdentificeerde kansen en risico's zich zouden voordoen voor. De opvallendste resultaten werden verder besproken en getoetst in een expertsessie.

⁷⁰ Schalk e.a., 'Translation of Neurotechnologies', 10, 31 mei 2024.

De publieke waarden die we bespreken zijn gezondheid en welzijn, veiligheid en privacy, economische vitaliteit en welvaart, autonomie en identiteit, democratie, inclusiviteit en tot slot duurzaamheid en dierenwelzijn.

4.2. Gezondheid en welzijn

Mentale gezondheid

Aanbieders van EEG-headsets claimen inzicht te geven in de mentale gezondheid van consumenten en biedt daarmee aangrijpingspunten om deze te verbeteren. Dat kan kansen meebrengen voor gebruikers. Op dit moment is echter nog onduidelijk of deze toepassingen effectief zijn. Hiermee kunnen de verwachtingen van sommige consumenten te hoog liggen, en is de aankoop van dit soort apparaten mogelijk geldverspilling. Dit soort toepassingen van neurotechnologie dragen ook bij aan het idee dat mentale gezondheid maakbaar is, terwijl dat nog de vraag is.

Geraadpleegde experts vrezen dat aanbieders van neurotechnologie aan consumenten onvoldoende uitdragen dat mentale toestanden zoals stress enorm complex zijn en dat het beïnvloeden van een aspect hiervan onbedoelde bijeffecten kan hebben, zoals plotseling agressief gedrag.⁷¹ Als het in de toekomst mogelijk wordt implantaten te laten plaatsen buiten de medische context, dan zullen de risico's voor de mentale gezondheid aanzienlijk zijn.

Voor de mentale gezondheid van kinderen brengt neurotechnologie extra risico's met zich mee.⁷² Tot een leeftijd van vijftientig jaar, en met name bij kinderen, vinden er cruciale ontwikkelingsprocessen plaats in het brein, die hun emotionele, sociale en gedragsmatige groei beïnvloeden. Neurotechnologisch interventies in deze ontwikkeling hebben mogelijk grote gevolgen, waarvan de effecten op lange termijn onduidelijk zijn. Daarnaast vindt er weinig onderzoek plaats met kinderen, waardoor de onzekerheid over de effecten van neurotechnologie op deze groep groot is.⁷³

Fysieke gezondheid

Met name bij het plaatsen van een neuroimplantaat spelen verschillende risico's voor de fysieke gezondheid van gebruikers.⁷⁴ Zo kunnen bijvoorbeeld infecties of schade aan de bloedbaan of het weefsel in het hoofd ontstaan. Aangezien hersenimplantaten nu nog niet voor niet-medische doeleinden worden geplaatst, speelt dit risico niet buiten de medische sector. Gezien de investeringen van grote commerciële partijen in invasieve techniek (zie ook hoofdstuk 1.5 over investeringen in neurotechnologie), zou dit in de toekomst kunnen veranderen. De risico-afweging is bij niet-medische toepassingen anders: weegt het voordeel dan op tegen de fysieke risico's?

⁷¹ Korteweg, 'Met een revolutionaire nieuwe behandeling kwam hij van zijn jarenlange dwangneuroses af', 15 april 2022.

⁷² International Bioethics Committee, 'The ethical issues of neurotechnology', 2021.

⁷³ Pauwels, 'Neurotechnology and Children', 18 juni 2024.

⁷⁴ Obidin, Tasnim, en Dagdeviren, 'The Future of Neuroimplantable Devices', april 2020.

4.3. Veiligheid

Veiligheid op straat

Neurotechnologie zou in de toekomst mogelijkheden kunnen bieden om de risicobeoordeling binnen de rechtspraak en daarmee publieke veiligheid te verbeteren. Zo zou op basis van fMRI en AI-systemen mogelijk het risico op herhaling van strafbaar gedrag (recidive) kunnen worden voorspeld. Tot op heden lijken dit soort voorspellingen gevaarlijk bevooroordeeld te zijn.⁷⁵ Bias in modellen kan leiden tot ongelijke behandeling van verschillende groepen, zoals mensen die uit een buurt komen waar veel criminaliteit is geregistreerd. Er bestaat dus een spanning tussen publieke waarden veiligheid en gelijkheid. Onterecht gebruik van en vertrouwen in neurotechnologie in rechtspraak vormt een tweede risico. Neuroleugendetectie en -geheugentesten (zie hoofdstuk 2) zijn op dit moment niet betrouwbaar, ook omdat verdachten de uitkomsten van zulke tests kunnen beïnvloeden.

Een andere mogelijke manier waarop neurotechnologie aan veiligheid kan bijdragen is het gebruik van non-invasieve stimulatietechnieken om psychiatrische symptomen te verminderen. Dit kan leiden tot minder (recidive van) bijvoorbeeld geweldpleging. Binnen het justitiële domein is een weloverwogen aanpak nodig, omdat deze methode ook weer risico's meebrengt voor de autonomie en mentale en fysieke integriteit van veroordeelden.⁷⁶

Defensieve veiligheid

In potentie kan het functioneren van militairen verbeterd worden met neurotechnologie, wat de defensieve veiligheid van Nederland en bondgenoten zou vergroten. De door ons geraadpleegde experts verwachten niet dat neurotechnologie militairen tot '*super soldiers*' zal maken met bovennatuurlijke capaciteiten, zoals door DARPA wordt voorgesteld. Voor defensie zal de toegevoegde waarde van neurotechnologie met name liggen in militairen beter om te laten gaan met de stress, angst, en vermoeidheid die komen kijken bij extreme omstandigheden. Vanwege deze beperkte toepassing verwachten experts weinig risico's rakend aan het internationaal humanitair recht.

Veilige werkomgeving

Wanneer werknemers neurotechnologie effectief weten te implementeren om nieuwe inzichten te geven over aandacht en stress van werknemers, zou dit kunnen bijdragen aan een veilige werkomgeving.⁷⁷ Zo kan draagbare neurotechnologie er in principe voor zorgen dat werknemers op een optimaal moment pauze nemen, en dat risicovolle handelingen met voldoende concentratie worden uitgevoerd. Mogelijk heeft neurotechnologie op de werkvloer de grootste potentie voor specifieke beroepen waar werknemers onder hoge druk staan, zoals hulpverleners bij de brandweer, politie, of ambulance.

⁷⁵ Tortora e.a., 'Neuroprediction and A.I. in Forensic Psychiatry and Criminal Justice', 2, 17 maart 2020.

⁷⁶ Bijlsma e.a., 'Kansen En Risico's van de Toepassing van Neurotechnologie in Het Strafrecht', 4 mei 2022.

⁷⁷ Portillo-Lara e.a., 'Mind the Gap', 10, september 2021; Douibi e.a., 'Toward EEG-Based BCI Applications for Industry 4.0', 2021.

Cybersecurity

Een kans voor cybersecurity is dat neurodata in de toekomst wellicht kunnen worden gebruikt als een nieuwe, veiligere authenticatiemethode. Neurodata zijn voor iedereen namelijk uniek.⁷⁸ Ook zijn er risico's. Invasieve en non-invasieve neurotechnologie kan worden gehackt.⁷⁹ Naast dat criminelen gevoelige persoonlijke data afhandig kunnen maken, is er bij modulerende neurotechnologie het extra risico dat een kwaadwillende de hersenactiviteit van de gebruiker beïnvloedt.

4.4. Privacy

Informationele privacy (dataprivacy)

Neurodata zijn intieme gegevens, waar potentieel gevoelige informatie uit afgeleid kan worden. Niet alleen over onze mentale toestanden (zie mentale privacy), maar ook over andere zaken.⁸⁰ Zo liet één studie zien dat uit neurodata van draagbare EEG-headsets, nadat gebruikers bepaalde stimuli waarnamen, hun pincode en informatie over hun woongebied afgeleid konden worden wanneer de proefpersonen deze in gedachten hadden.⁸¹ En via de neurodata van het BCI-spel *Flappy Whale*, waarvan het doel was om de reacties van mensen op bepaalde marketing-signalen te meten, konden ook financiële informatie en persoonlijke overtuigingen worden achterhaald.⁸²

Net zoals bij andere digitale gegevens, is het onwenselijk dat externe partijen zonder toestemming toegang tot neurodata krijgen. Om informationele privacy te garanderen, moeten gebruikers begrijpen welke data ze delen, hoe deze worden verwerkt en hieruit afgeleid kan worden. Bij neurotechnologie zien we hier inherente complicaties.⁸³ Het is maar de vraag hoe je geïnformeerd toestemming kunt verlenen voor het verwerken van hersenactiviteit die je onbewust produceert. Daarnaast is het niet gemakkelijk om de algoritmische analyse van neurodata te begrijpen en te overzien wat er allemaal afgeleid kan worden uit breinactiviteit. Zoals gebleken bij webbrowsing, sociale media en andere apps, geven consumenten vaak hun privacyrechten op zonder daadwerkelijk goed geïnformeerd en vrij te zijn in deze keuze.⁸⁴

Mentale privacy

Een van de meeste genoemde zorgen in de geraadpleegde grijze literatuur over neurotechnologie is dat we onze mentale privacy – het privé houden van mentale toestanden – kunnen verliezen doordat neurotechnologie onze gedachten zou lezen.⁸⁵ Er zijn fascinerende onderzoeken naar gedachtenlezen gepubliceerd waarin

⁷⁸ Frank, Mabrey, en Yoshigoe, 'Personalizable neurological user authentication framework', januari 2017.

⁷⁹ Greenberg e.a., 'Privacy and the connected mind. Understanding the data flows and privacy risks of brain-computer interfaces', 2021; Booij en Van Bruggen, 'Neurotechnologie in het onderwijs. Voorbeelden van mens-computerinteractie', 15 juni 2022.

⁸⁰ Chen e.a., 'Several Inaccurate or Erroneous Conceptions and Misleading Propaganda about Brain-Computer Interfaces', 8, 2024.

⁸¹ Martinovic e.a., 'On the Feasibility of {Side-Channel} Attacks with {Brain-Computer} Interfaces', 2012.

⁸² Ienca, Haselager, en Emanuel, 'Brain Leaks and Consumer Neurotechnology', oktober 2018; Martinovic e.a., 'On the Feasibility of {Side-Channel} Attacks with {Brain-Computer} Interfaces', 2012.

⁸³ Yuste e.a., 'Four Ethical Priorities for Neurotechnologies and AI', november 2017.

⁸⁴ Kröger, Lutz, en Ullrich, 'The Myth of Individual Control', 7 juli 2021.

⁸⁵ Wiersma, 'Computer leert gedachtenlezen', 21 januari 2022.

onderzoekers deelnemers naar een verhaal laten luisteren en alleen op basis van neurodata dit verhaal met een indrukwekkende nauwkeurigheid weten te reproduceren.⁸⁶ Dit soort toepassing van neurotechnologie lukt echter alleen in een onderzoekssetting. Zulke studies worden uitgevoerd met fMRI, een duur en groot apparaat dat professionele begeleiding vereist, en waarin het studieobject lange tijd moet stilliggen. De analysemethode moet specifiek worden afgestemd op een individuele deelnemer, waardoor zo'n reconstructieproces niet zomaar op grote schaal toegepast kan worden. Ook is het reconstrueren van waargenomen beeld of geluid, volgens experts van heel andere orde dan het lezen van gedachten.

Ondanks dat dit type onderzoek erg tot de verbeelding spreekt en technologische ontwikkelingen dit proces zouden kunnen verbeteren, zijn de mogelijkheden tot 'gedachtenlezen' op dit moment beperkt. Volgens sommige experts is deze stap zelfs in theorie onmogelijk. De menselijke ervaring is volgens hen niet te reduceren tot hersenactiviteiten en de daaruit afgeleide neurodata. De meeste experts waren het erover eens dat het in ieder geval nog lang zal duren voordat het mogelijk wordt een gedachtestroom te lezen waarvan de inhoud van tevoren niet bekend is. Deze nuances zijn belangrijk om risico's van neurotechnologie voor mentale privacy op waarde te kunnen schatten.

Toch kan neurotechnologie wel degelijk risico's opleveren voor mentale privacy. Wanneer mensen neurotechnologie gebruiken kan tot op zekere hoogte inzicht in mentale toestanden worden afgeleid. Het is belangrijk om hier rekening mee te houden, ook omdat de mogelijkheden en toepassingen van inzicht in mentale toestanden in de toekomst zullen toenemen. Denk aan potentieel gebruik van inzicht in individuele mentale toestanden door verzekeraars of door werkgevers. Bovendien hoeft de informatie die uit neurodata wordt afgeleid niet eens (volledig) in overeenstemming te zijn met daadwerkelijke mentale toestanden. Werken met verkeerde interpretaties van neurodata voor een veroordeling in een rechtszaal of het meten van alertheid op de werkvloer kan reële gevolgen hebben.

4.5. Economische vitaliteit en welvaart

De ontwikkeling van neurotechnologie in Nederland en Europa brengt economische kansen met zich mee. Ook kan neurotechnologie zelf worden ingezet om de marketing voor commerciële en publieke doelen te verbeteren en daarmee de winstgevendheid van bedrijven te vergroten en het effect van publiekscampagnes te vergroten. Op groepsniveau draagt neurotechnologie bij aan neurowetenschappelijke inzichten over hoe mensen keuzes maken, of aan inzicht in mentale toestanden tijdens het bekijken van een film of advertentie. Door advertenties hierop aan te passen kunnen bedrijven mogelijk meer omzet maken.⁸⁷ Op individueel niveau kan marketing beter op de gebruiker van neurotechnologie afgestemd worden, vooral wanneer er ook andere typen data wordt verzameld over deze gebruiker. De mate waarin gericht gemarket kan worden neemt toe als consumenten langdurig neurotechnologie gebruiken, bijvoorbeeld

⁸⁶ Airhart, 'Brain Activity Decoder Can Reveal Stories in People's Minds', 1 mei 2023.

⁸⁷ Khondakar e.a., 'A systematic review on EEG-based neuromarketing', 5 juni 2024.

als ontwikkelaars koptelefoons, hoofdbanden, oordopjes en VR/AR-brillen uitrusten met EEG.

4.6. Autonomie en identiteit

Met de waarde autonomie bedoelen we de capaciteit van mensen om eigen keuzes te maken. Een onderdeel van autonomie is zelfontplooiing. Zoals in het vorige hoofdstuk is beschreven, zijn er indicaties dat neurofeedback in verschillende domeinen kan bijdragen aan het verbeteren van cognitieve prestaties.⁸⁸ Hoewel deze toepassingen zich nog in de onderzoeksfase bevinden, bieden ze kansen voor zelfontplooiing. Neurotechnologie kan ook worden gebruikt om een exoskelet aan te sturen, met kansen voor het verbeteren van fysieke capaciteiten en het zo vergroten van de autonomie.

Een ander onderdeel van autonomie is mentale integriteit, de controle van individuen over hun mentale toestanden. Neuromodulatie technieken zoals transcraniële magnetische stimulatie (TMS) kunnen mentale toestanden van mensen veranderen door hersensignalen direct te manipuleren. Dit zou positieve gevolgen kunnen hebben voor mensen die last hebben van mentale klachten zoals bijvoorbeeld neerslachtigheid, agressie, of angsten.

Bij neuromodulatie technieken is echter ook voorzichtigheid geboden. Bij de behandeling van Parkinson (met Deep Brain Stimulation, een invasieve techniek) bleken ook persoonlijke eigenschappen onbedoeld te veranderen. Zo werden sommige patiënten impulsiever, wat tot hyperseksueel gedrag kan leiden.⁸⁹ Het kan zijn dat modulerende neurotechnologie ook in toepassingen buiten het medische domein het gevoel van zelfcontrole beschadigt en leidt tot vervreemding van het eigen lichaam, doordat gebruikers geen onderscheid kunnen maken tussen mentale toestanden die worden veroorzaakt door de technologie of hun eigen brein.⁹⁰

Modulerende neurotechnologieën kunnen tot slot een risico vormen voor persoonlijke identiteit en psychologische continuïteit, met name wanneer ze het geheugen beïnvloeden.⁹¹ Herinneringen helpen bij het vormen en onderhouden van een beeld van wie je bent. Ook zorgen herinneringen ervoor dat je een samenhangend idee hebt van wat je door de jaren heen hebt meegemaakt. Het verstoren van dit beeld zou ernstige gevolgen kunnen hebben voor de autonomie en mentale gezondheid van mensen.⁹² Bovengenoemde risico's voor mentale privacy en autonomie kunnen ontstaan bij vrijwillig gebruik van modulerende neurotechnologie. Nog groter kan de schade aan deze waarden zijn als derde partijen hersenactiviteit en daarmee mentale toestanden onvrijwillig weten te beïnvloeden. In de literatuur wordt het risico genoemd dat mensen,

⁸⁸ De scheidslijn tussen zelfontplooiing en het verbeteren van mentale gezondheid is niet eenduidig: het verbeteren van je aandacht kan bijvoorbeeld zowel zelfontplooiing als mentale gezondheidsverbetering zijn. In dit onderzoek bedoelen we met zelfontplooiing het verbeteren van psychologische functies, waar het bij mentale gezondheid gaat om het herstellen van psychologische functies tot 'normaal' niveau.

⁸⁹ Pham e.a., 'Personality Changes after Deep Brain Stimulation in Parkinson's Disease', 2015.

⁹⁰ International Bioethics Committee, 'The ethical issues of neurotechnology', 13, 2021.

⁹¹ International Bioethics Committee, 26-27.

⁹² Erden en Brey, 'Neurotechnology and Ethics Guidelines for Human Enhancement', augustus 2023.

bijvoorbeeld voor hun werk, verplicht of gedwongen gebruik moeten maken van neurotechnologie.⁹³ In de EU is dit risico juridisch afgedekt door de Verordening Artificiële Intelligentie (zie hoofdstuk 4), dus in ieder geval binnen afzienbare termijn is de verwachting niet dat hier problemen ontstaan, indien er goed wordt gehandhaafd. Een waarschijnlijker scenario is dat mogelijkheden voor manipulatie toenemen. Dit vindt plaats als derde partijen gebruikers beïnvloeden met behulp van profilering op basis van (o.a.) neurodata. Een vraag hierbij is in hoeverre neurotechnologie daarmee echt anders is dan andere technologieën waarmee inzichten kunnen worden opgedaan over de voorkeuren of kooptriggers van mensen, en advertenties verdergaand ge(hyper)personaliseerd kunnen worden.

Veel van de genoemde kansen en risico's voor autonomie en identiteit zijn nu nog grotendeels hypothetisch. Toch is het goed om rekening te houden met dit soort gevolgen voor autonomie en identiteit als neurotechnologie zich verder blijft ontwikkelen.

4.7. Democratie

Elon Musk heeft een prominente stem in het publieke debat over de toekomst van neurotechnologie. Hij beweert dat neurotechnologie kansen kan bieden voor het versterken van de democratie. Het implanteren van neurotechnologie zodat een verlamde man met zijn gedachten een computer kan besturen is volgens Musk de eerste stap richting een groter doel. Musk maakt zich naar eigen zeggen zorgen over de snelle ontwikkeling van AI-systemen en verwacht dat AI-systemen op termijn intelligenter zijn dan mensen. Dit levert democratische en zelfs existentiële risico's voor mensen op. Om als menselijke soort te overleven in een wereld met superintelligente AI, moeten we volgens Musk de menselijke denkkraft vergroten door onze hersenen met neurotechnologie te koppelen aan AI.⁹⁴ Zo zou er een nieuwe, intelligentere soort mens ontstaan. De experts die wij hebben geraadpleegd waren zeer sceptisch over dit soort uitspraken omdat, als het zou gebeuren, dit op een zeer lange termijn zal zijn. Maar vooral waren experts kritisch op deze uitspraken omdat de focus op deze lange termijnontwikkelingen afleidt van de kansen en risico's die op dit moment spelen met neurotechnologie die al beschikbaar is.

Deze experts uiten juist zorgen over het gebrek aan democratische controle op de ontwikkeling en implementatie van neurotechnologie. Of en in hoeverre de publieke waarden beschreven in dit hoofdstuk meegenomen worden in de ontwikkeling van neurotechnologie, kan in toenemende mate afhankelijk worden van de keuzen die (grote) commerciële technologiebedrijven zoals die van Musk maken. Wanneer zij vooraan staan in de ontwikkeling van deze technologie hebben zij grote invloed op de voorwaarden, kosten en toegankelijkheid van de technologie. Zo zijn er voorbeelden

⁹³ Greenberg e.a., 'Privacy and the connected mind. Understanding the data flows and privacy risks of brain-computer interfaces', 19, 2021.

⁹⁴ Hart, 'Elon Musk Says Neuralink Could Slash Risk From AI As Firm Prepares For First Human Trials', 21 september 2023.

van patiënten die met een implantaat zijn blijven zitten nadat aanbieders uit de markt traden, zonder duidelijkheid over wie verantwoordelijk is voor het onderhoud van dat implantaat.⁹⁵ Daarnaast bemoeilijkt gebrekkige transparantie door aanbieders zoals Neuralink de controle op commerciële neurotechnologie.⁹⁶

Neurotechnologie raakt, door het gebruik van AI voor de analyse van neurodata, aan de bredere discussie over AI en democratie. Een terugkerende vraag is wie er verantwoordelijk is voor beslissingen die een AI-systeem maakt. Daarnaast is een AI-systeem niet transparant, waardoor het onduidelijk is hoe het tot een beslissing is gekomen. Verder kan bias in trainingsdata doorwerken in de toepassing van AI, waardoor bepaalde groepen mensen benadeeld kunnen worden (zie hierover ook de paragraaf over veiligheid op straat en de rechtspraak). Ook generatieve AI wordt waarschijnlijk in toenemende mate geïntegreerd in neurotechnologie. In een eerdere de scan over Generatieve AI constateerde het Rathenau Instituut dat deze technologie risico's met zich meebrengt voor onder andere veiligheid, mensgerichtheid, eerlijkheid en democratie.⁹⁷

4.8. Inclusiviteit

Ook voor inclusiviteit biedt neurotechnologie zowel kansen als risico's. Neurotechnologie biedt bijvoorbeeld kansen om neurodivergente personen (mensen met ADHD, autisme, dyscalculie, dyslexie, hoogbegaafdheid of hoogsensitiviteit) te helpen beter hun weg te vinden in onze samenleving. Anderzijds wordt de samenleving daar zelf misschien juist minder inclusief van. Ook wanneer neurotechnologie wordt ingezet om klachten zoals angstigheid, te 'corrigeren', ontstaat het risico op toenemende stigmatisering.⁹⁸ Dit kan als gevolg hebben dat verschillen tussen mensen minder geaccepteerd worden in de samenleving. Dit risico is extra groot bij kinderen, omdat ontwikkelingsmoeilijkheden dan sneller gezien kunnen worden als problemen die behandeling met neurotechnologie vereisen.⁹⁹

Inclusiviteit hangt ook af van de toegankelijkheid van de technologie. Mogelijk werkt de technologie niet voor iedereen even goed. Dat hangt bijvoorbeeld af van voor wie neurotechnologie en de bijbehorende AI-systemen gemaakt en getest worden. De voordelen van neurotechnologie zullen ook niet zomaar voor de hele samenleving beschikbaar zijn. Non-invasieve neurotechnologie is nu al relatief duur, en implantaten zullen vanwege hun kosten alleen voor welvarende mensen bereikbaar zijn.¹⁰⁰ Daarnaast zullen bepaalde vaardigheden nodig zijn om neurotechnologie te trainen en te gebruiken, waar niet iedereen over zal beschikken.¹⁰¹ Zo kan neurotechnologie de digitale kloof doen toenemen.

⁹⁵ Drew, 'Abandoned', 6 december 2022.

⁹⁶ Wieringa, 'Primeur voor Musk: zijn bedrijf plaatst hersenchip in mens, maar heeft nog grotere ambities', 30 januari 2024.

⁹⁷ Rathenau Instituut, 'Rathenau Scan: Generatieve AI', 2023.

⁹⁸ International Bioethics Committee, 'The ethical issues of neurotechnology', 34, 2021.

⁹⁹ Pauwels, 'Neurotechnology and Children', 21, 18 juni 2024.

¹⁰⁰ Burwell, Sample, en Racine, 'Ethical aspects of brain computer interfaces: a scoping review', 11 september 2017.

¹⁰¹ Portillo-Lara e.a., 'Mind the Gap', september 2021.

4.9. Duurzaamheid en dierenwelzijn

Over de risico's van neurotechnologie voor duurzaamheid en dierenwelzijn is nog niet veel geschreven. Wel worden er zeldzame materialen gebruikt voor neurotechnologie. Ook is het aannemelijk dat het energieverbruik van neurotechnologie hoog is en hoger zal blijven worden. Dit komt voornamelijk doordat neurotechnologie AI-systemen gebruikt om data te analyseren en verschillende onderzoeken tonen aan dat AI-modellen (met name grote taalmodellen) enorme hoeveelheden stroom verbruiken.¹⁰² Daarnaast worden neurotechnologie-toepassingen, zoals implantaten eerst onderzocht door ze toe te passen op dieren, waar vaak dierenleed bij komt kijken. Bij het onderzoek naar implantaten van Neuralink ging het op dit gebied flink mis: meer dan tien mensapen zijn daar na ernstig lijden overleden, terwijl hier niet open over is gecommuniceerd.¹⁰³

4.10. Conclusie

De analyse van de kansen en risico's van neurotechnologie voor publieke waarden gaat gepaard met significante onzekerheden. Op basis van literatuur en de input van geraadpleegde experts signaleren we grofweg twee groepen van kansen en risico's met een verschillende mate van zekerheid en termijn waarop ze zich zullen manifesteren. Ten eerste zijn er langetermijnrisico's die onzeker zijn en pas over vijf jaar of langer zullen manifesteren, maar aan de kern raken van het mens-zijn. Voordat hier daadwerkelijk sprake van is, moeten neurotechnologieën nog in grote mate worden doorontwikkeld en het is nog onzeker of dit daadwerkelijk zal gebeuren. Als geavanceerde, modulerende neurotechnologieën en implantaten in privé klinieken bij mensen geplaatst kunnen worden, nemen de kansen voor maatschappelijke veiligheid en de mogelijkheden voor zelfontplooiing en marketing toe. Tegelijkertijd zorgt neurotechnologie in dit scenario ook voor ingrijpende risico's voor publieke waarden op het gebied van veiligheid (hacken), autonomie, identiteit, inclusiviteit en mentale privacy.

Ten tweede zijn er kansen en risico's waar we al op de korte termijn rekening mee moeten houden. De komende jaren zal er meer draagbare, non-invasieve neurotechnologie, met name EEG, op de markt komen als *stand-alone* hoofdbanden of ingebouwd in bestaande apparaten. Het aanboren van deze datamarkt kan bijdragen aan de invloedsmogelijkheden van grote technologiebedrijven. De kansen hiervan liggen op het gebied van welvaart, mentale gezondheid en zelfontplooiing met als gevolg meer autonomie. De technologie brengt echter ook risico's voor deze waarden mee, in het bijzonder voor de mentale gezondheid van kinderen. Maar met name het risico van informationele privacy staat op gespannen voet met de kansen.

¹⁰² 'Electricity 2024 - Analysis and Forecast to 2026', 2024.

¹⁰³ Mehrotra, 'The Gruesome Story of How Neuralink's Monkeys Actually Died', 20 september 2023.

5. Beleidsscan

5.1. Introductie

In dit hoofdstuk bespreken we de beleidsinstrumenten die relevant zijn voor de kansen en risico's van neurotechnologie (zie tabel 2 beleidsinstrumenten). Zoals beschreven in hoofdstuk 2 worden steeds meer neurodata verzameld op de consumentenmarkt en in andere contexten buiten de gezondheidszorg. In dit hoofdstuk richten we ons op leemtes die we signaleren en volgens onze analyse de meest belangrijke en urgente uitdaging vormen.

We kwamen als volgt tot deze beleidsscan. Middels een vragenlijst vroegen we experts op het gebied van neurotechnologie een inschatting te maken van de mate van onzekerheid en de urgentie van kansen en risico's van neurotechnologie zoals gevonden in de desk research. Hieruit volgde een selectie van kansen en risico's die urgent zijn gezien de mogelijke maatschappelijke belang en beleidsontwikkeling. Vervolgens vroegen we beleidsmakers in een tweede vragenlijst aan te geven welk beleid relevant is voor de meest belangrijke en urgente risico's. Dit beleid is met aanvullende desk research in kaart gebracht. Hiervoor hebben we met name beleidsbronnen geraadpleegd, aangevuld met academische en grijze literatuur. Hierbij zijn we bijgestaan door een juridisch expert.

We bespreken de beleidsinstrumenten – in dit geval enkel wettelijke kaders – aan de hand van de neurotechnologieprocessen die in hoofdstuk 1 zijn beschreven. Eerst bespreken we het beleid dat van toepassing is op de meetsystemen waarmee hersensignalen worden gemeten. Daarna komt het juridisch kader rondom het analyseren van neurodata aan bod. Eerst gaan we in op het verzamelen en verwerken van neurodata, en daarna op de regulering van AI-systemen die in neurotechnologie gebruikt worden. Tot slot bespreken we algemene mensenrechtenkaders die relevant zijn in de toepassing van neurotechnologie, en de discussie rondom neurorechten. Zie voor een overzicht van relevante kaders tabel 2.

Tabel 2: Beleidsinstrumenten

Beleidsinstrumenten relevant voor de kansen en risico's van neurotechnologie
Hardware • Bij medisch risico: Verordening Medische Hulpmiddelen (MDR) Software • AI-verordening Neurodataverzameling en verwerking • Algemene Verordening Gegevensbescherming (AVG) • In sommige gevallen worden neurodata hierbij beschermd als bijzondere persoonsgegevens (biometrische gegevens of gezondheidsgegevens) Inzet in strafrecht • EU Law Enforcement Directive en nationale Wet politiegegevens en Wet justitiële en strafvorderlijke gegevens Mensenrechten Het recht op privacy; het recht op menselijke integriteit; de vrijheid van gedachte, geweten en godsdienst; de vrijheid van meningsuiting; het recht op een eerlijk proces en het folterverbod; de rechten van kinderen; mensenrechten in biogeneeskunde en wetenschap: • De Nederlandse Grondwet • Europees Verdrag voor de Rechten van de Mens (EVRM) • Handvest van de Grondrechten van de Europese Unie • Universele Verklaring voor de Rechten van de Mens (UVRM)

5.2. Meten van hersensignalen (meetsystemen)

In deze paragraaf bespreken we het beleid dat in beperkte gevallen van toepassing is op de meetsystemen waarmee neurodata vastgelegd worden: de Verordening Medische Hulpmiddelen (MDR). Deze wet beschermt in sommige contexten de fysieke veiligheid en (mentale) gezondheid van neurotechnologie-gebruikers. Deze paragraaf gaat dus over de hardware en software waarmee hersenactiviteit gemeten en omgezet wordt in neurodata.

De MDR bevat voorschriften met betrekking tot de veiligheid voor het in de handel brengen, op de markt aanbieden en gebruiken van medische hulpmiddelen. Fabrikanten moeten risico's in kaart brengen en zoveel mogelijk mitigeren met veiligheidsmaatregelen. Dat kan door instructievideo's, gebruiksaanwijzingen en veiligheidsinformatie te geven. Een neurotechnologisch apparaat moet in ieder geval voldoen aan de MDR als deze aangemerkt kan worden als medisch hulpmiddel. Of het hiervoor in aanmerking komt, hangt ervan af of in ieder geval één van de aangegeven beoogde doeleinden medisch is. Dit is ongeacht of de technologie invasief, non-

invasief, modulerend of beeldvormend is (zie Hoofdstuk 1 voor een uitleg van deze begrippen). Zowel de hardware waarmee bijvoorbeeld zuurstof in de hersenen gemeten wordt, als de software die van deze meetgegevens neurodata maakt, kunnen dus als medisch hulpmiddel onder de MDR vallen.

Als software met AI-systemen werkt, wordt het ook gereguleerd onder de nieuwe AI-verordening (zie verder paragraaf 4.4). Een AI-systeem wordt namelijk aangemerkt als 'hoog risico' als het onderdeel is van een apparaat dat valt onder bestaande EU-productveiligheidswetgeving.¹⁰⁴ Deze neurotechnologie moet dan aan beide wetten voldoen. Aanbieders kunnen de toets- en rapportageverplichtingen die eruit voortvloeien combineren. Het doel van de koppeling is om optimale bescherming te bieden, aangezien de MDR niet specifiek op de risico's van AI-systemen is gericht.

Welke concrete neurotechnologietoepassingen precies onder de MDR en andere productwetgeving vallen, dient vastgesteld te worden door juristen en technische experts, of opgehelderd te worden in uitspraken of richtlijnen van Europese of nationale toezichthouders.¹⁰⁵ De EU schaart in ieder geval alleen producten die risico's vormen voor de fysieke en medische veiligheid onder de MDR. Over of dit afdoende regulering is, verschillen de meningen. Volgens rechtswetenschapper Elisabeth Steindl laat dit zien dat de wetgever anticipeert op toekomstige ontwikkelingen van neurotechnologie en een balans weet te vinden tussen bescherming van consumentenveiligheid en overregulatie.¹⁰⁶ Andere rechtswetenschappers, Jan Christoph Bublitz en Sjors Ligthart, benoemen echter dat de focus op fysieke veiligheid betekent dat de wetgeving de mentale toestanden van personen niet beschermt.¹⁰⁷

5.3. De bescherming van neurodata

Ieder individu heeft een uniek patroon van breinactiviteiten. Daarom zijn neurodata al heel snel persoonsgegevens.¹⁰⁸ Het meten, uitlezen, analyseren en iedere verdere verwerking van neurodata is dan ook gebonden aan de Algemene Verordening Gegevensbescherming (AVG).¹⁰⁹ Basisbeginselen van de AVG waaraan de verwerking van persoonsgegevens moet voldoen zijn: rechtmatigheid, behoorlijkheid, transparantie, doelbinding, proportionaliteit en dataminimalisatie. Deze wet beschermt daarmee met name de informationele privacy. Zoals we in Hoofdstuk 3 zagen, kan deze in gevaar komen bij de analyse van neurodata.¹¹⁰

¹⁰⁴ Artikel 6 en Bijlage I AI-verordening.

¹⁰⁵ In een bijlage van de MDR staan bovendien middelen die zonder medisch doeleind toch onder de MDR vallen genoemd, waaronder non-invasieve modulerende neurotechnologie. Andere (toekomstige) toepassingen van neurotechnologie vallen in sommige gevallen onder product(veiligheids)wetgeving, die in deze scan buiten beschouwing blijft. Toepassingen die onder de privacy- en AI-wetgeving vallen worden later in dit hoofdstuk besproken.

¹⁰⁶ Steindl, 'Consumer Neuro Devices within EU Product Safety Law', april 2024.

¹⁰⁷ Bublitz en Ligthart, 'The new regulation of non-medical neurotechnologies in the European Union', 7 juli 2024.

¹⁰⁸ Tenzij ze volledig geanonimiseerd worden, bijvoorbeeld voor onderzoek.

¹⁰⁹ Verordening (EU) 2016/679 van het Europees Parlement en de Raad van 27 april 2016 betreffende de bescherming van natuurlijke personen in verband met de verwerking van persoonsgegevens en betreffende het vrije verkeer van die gegevens en tot intrekking van Richtlijn 95/46/EG (algemene verordening gegevensbescherming), <http://data.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj/nld> (hierna: AVG).

¹¹⁰ In deze wet is het recht op bescherming van persoonsgegevens uitgewerkt, zoals neergelegd in artikel 8 Handvest. Zodra neurodata via een internetverbinding uitgelezen worden van een apparaat, zoals een wearable, gelden ook

We zien drie belangrijke aandachtspunten, die in geraadpleegde bronnen tot de conclusie leiden dat neurodata en dus informationele privacy onvoldoende beschermd worden door de AVG. Ten eerste lijkt basisbescherming van de AVG in de praktijk moeilijk te realiseren. Ten tweede worden neurodata buiten gebruik in bepaalde specifieke contexten, zoals gezondheid, niet aangemerkt als *bijzondere* persoonsgegevens. Ze worden dan niet als extra beschermwaardig gezien, waardoor aanvullende beschermingsregels niet van toepassing zijn. Tenslotte vraagt het gebruik van neurodata in het strafrecht een extra afweging. In de volgende secties gaan we dieper in op deze drie punten.

Daarvoor dient opgemerkt te worden dat een goed juridisch kader niet afdoende is: de praktijk rondom trackingcookies en sociale media laat zien dat consumenten voor digitale diensten betalen met hun data, op basis van toestemmingsraamwerken en andere constructies die lang niet altijd voldoen aan de AVG. Dat zal bij neurotechnologie mogelijk niet anders zijn.¹¹¹

Bescherming van neurodata kent veel praktische uitdagingen

Uit een studie van de European Data Protection Supervisor en andere literatuur volgt dat het de vraag is of en hoe de basisbeginselen van de AVG gerealiseerd kunnen worden bij neurodata. Dit komt door de kenmerken van neurodata(verwerking).

Rechtmatigheid

Het basisbeginsel rechtmatigheid vereist een geldige verwerkingsgrond. Bij *normale persoonsgegevens* kan dit bijvoorbeeld een 'gerechtvaardigd belang' zijn. Daarvan kan zelfs sprake zijn bij een commercieel belang bij gerichte marketing, en dus mogelijk bij neuromarketing.¹¹² Op *bijzondere persoonsgegevens* rust in principe een verwerkingsverbod, dat echter opgeheven kan worden via een wettelijke uitzonderingsgrond. Bijvoorbeeld als de wet bepaalt dat verwerking noodzakelijk is voor de volksgezondheid. Vaak zal bij neurodata geen sprake zijn van een gerechtvaardigd belang of wettelijke uitzonderingsgrond. Dan is toestemming de aangewezen verwerkingsgrond.

Transparantie

Dat hangt samen met het tweede basisbeginsel van transparantie: de AVG verplicht open en duidelijke communicatie over de dataverwerking. Daarom moet de toestemming door degene wiens neurodata worden verwerkt als volgt worden gegeven:

de E-Privacyrichtlijn en Telecommunicatiewet (Tw). Worden de neurodata verzameld in een medische context en uiteindelijk gedeeld voor patiëntenzorg of voor onderzoek of innovatie, dan geldt ook de Europese ruimte voor gezondheidsgegevens. Deze verordening creëert een *European Health Data Space* (EHDS), waarin (elektronische) gezondheidsdata gedeeld kunnen worden voor *primair* gebruik (ten behoeve van de zorg voor het individu) en *secundair* gebruik (voor andere doelen dan waar de gegevens in eerste instantie zijn verzameld, zoals onderzoek, innovatie en wetenschap). Hiervoor worden gezamenlijke regels, standaarden, infrastructuur en governance-raamwerken vastgesteld. De EHDS gebruikt dezelfde definitie van persoonsgegevens en gezondheidsgegevens als de AVG, dus lang niet alle neurodata vallen eronder (zie hieronder). De Tw en EHDS worden buiten beschouwing gelaten gezien de beperkte omvang van deze scan, en omdat neurodata ook vrijwel altijd persoonsgegevens zullen zijn, wat betekent dat de AVG sowieso geldt.

¹¹¹ Rainey e.a., 'Is the European Data Protection Regulation sufficient to deal with emerging data concerns relating to neurotechnology?', 25 juli 2020.

¹¹² Zie bijvoorbeeld deze recente zaak: Koninklijke Nederlandse Lawn Tennisbond tegen Autoriteit Persoonsgegevens, oktober 2024.

‘specifiek’ (voor ieder verwerkingsdoel), ‘geïnformeerd’ (met kennis over de organisatie, het soort gegevens en zijn datarechten),¹¹³ ‘ondubbelzinnig’ (met een actieve handeling, dus geen vooraf aangevinkte vakjes), en ‘vrijelijk’ (dus niet onder druk van een werkgever, of omdat een medische breinimplantaat stopt met werken als er niet ingestemd wordt met neuromarketing).¹¹⁴ Bij bijzondere persoonsgegevens moet de toestemming bovendien ‘uitdrukkelijk’ gegeven worden, bijvoorbeeld via een formulier, email, (elektronische) handtekening, of door ‘ja’ te klikken op expliciete stellingen (‘ik geef hierbij toestemming voor...’).¹¹⁵ Zoals uitgelegd in Hoofdstuk 3, is het gezien de aard van neurodata, die je grotendeels onbewust produceert en waarvan de interpretatie voor experts al complex is, de vraag of überhaupt ooit gesproken kan worden van voldoende informatievoorziening en daadwerkelijk vrije en specifieke toestemming.

Doelbinding

Bij toestemming is ook het basisbeginsel doelbinding relevant: neurodata mogen niet verwerkt worden voor een doel dat onverenigbaar is met het doel waarvoor ze in eerste instantie verzameld zijn. In Paragraaf 3.2 werden het BCI-spel *Flappy Whale* en een wetenschappelijke studie naar EEG-headsets genoemd. Deze voorbeelden laten zien dat pincode, andere financiële informatie en informatie over woongebied afgeleid kon worden uit neurodata bij toepassingen die hier niet voor bedoeld waren.¹¹⁶ Dit impliceert potentie voor doelverschuiving- het gebruik van een technologie of data buiten het oorspronkelijke toepassingsgebied. Zoals bekende dataschandalen in het verleden hebben laten zien (bijvoorbeeld rondom Cambridge Analytica en de app Moslim Pro) kan dit vergaande gevolgen hebben voor gebruikers.¹¹⁷

Proportionaliteit en dataminimalisatie

De AVG vereist ook de basisbeginselen proportionaliteit en dataminimalisatie: de dataverwerking moet niet invasiever en omvangrijker zijn dan noodzakelijk is voor het (legitieme) doel. Neurotechnologieën gaan echter gepaard met de verwerking van gigantische hoeveelheden data. Dat gecombineerd met de intieme aard van de data, maakt het mogelijk één van de meest indringende vormen van dataverwerking die er zijn, aldus de Europese Toezichthouder voor Gegevensbescherming (EDPS).¹¹⁸

Behoorlijkheid

In welke gevallen is die vergaande privacy-inbreuk verantwoord? En kan het doel niet bereikt worden met een minder invasieve methode? Is gerichte marketing op basis van minder intieme gegevens bijvoorbeeld niet voldoende?¹¹⁹ Bij de beantwoording van

¹¹³ Een van de rechten is dat het datasubject zijn toestemming weer moet kunnen intrekken. Voor de komst van de AVG in 2018 verleende Emotiv zichzelf bijvoorbeeld een ‘onherroepelijke, eeuwigdurende licentie’ om neurodata van gebruikers te gebruiken, verzenden en verspreiden. Met de komst van de AVG moest dit worden gestaakt. Zie Ienca, Haselager, en Emanuel, ‘Brain Leaks and Consumer Neurotechnology’, oktober 2018.

¹¹⁴ Ienca, Haselager, en Emanuel.

¹¹⁵ Autoriteit Persoonsgegevens, ‘Grondslag toestemming’.

¹¹⁶ Ienca, Haselager, en Emanuel, ‘Brain Leaks and Consumer Neurotechnology’, oktober 2018; Martinovic e.a., ‘On the Feasibility of {Side-Channel} Attacks with {Brain-Computer} Interfaces’, 2012.

¹¹⁷ Zie voor een toelichting van dit risico en de schandalen onze eerdere Rathenau Scan over immersieve technologieën: Rathenau Instituut, ‘Rathenau Scan: Immersieve Technologieën’, 2023.

¹¹⁸ Brazal e.a., ‘TechDispatch on neurodata’, 6 maart 2024.

¹¹⁹ Dit heet het noodzakelijkheids- of subsidiariteitsvereiste.

deze vragen speelt ook het basisbeginsel van behoorlijkheid een rol: de dataverwerking mag geen ongeoorloofde schadelijke gevolgen hebben voor de betrokkenen of anderen, bijvoorbeeld in de vorm van discriminatie of andere mensenrechtenschendingen. In de Paragraaf 4.5 laten we zien dat er allerlei mensenrechtelijke zorgen spelen rondom neurotechnologie en de verwerking van neurodata (Paragraaf 4.2). Discriminatie-risico's kunnen bijvoorbeeld voortkomen uit het in Hoofdstuk 3 genoemde risico van bias door het werken met AI-systemen.¹²⁰

Juistheid

Een laatste basisbeginsel is juistheid: persoonsgegevens moeten accuraat en actueel zijn. Dit staat op gespannen voet met de eerder beschreven onzekerheid over de representatie van neurodata. Breinplasticiteit zorgt ervoor dat iemands patroon van breinactiviteit blijft veranderen, dus hoe garandeer je dan dat gegevens 'juist' blijven?

Zijn neurodata bijzondere persoonsgegevens?

Bijzondere persoonsgegevens worden onder de AVG aanvullend beschermd. Niet alle neurodata lijken echter binnen die categorieën te vallen.¹²¹ Zo zullen neurodata waarschijnlijk niet snel biometrische gegevens zijn, omdat daarvan alleen sprake is wanneer fysieke of fysiologische gegevens verwerkt worden met als doel 'de unieke identificatie van een persoon',¹²² en het is onzeker of identificatie en authenticatie op basis van neurodata (op lange termijn) mogelijk zullen zijn.¹²³

Vaker zullen neurodata gezondheidsgegevens zijn. Dit geldt sowieso wanneer ze worden verzameld binnen het medische domein, maar waarschijnlijk ook voor alle neurodata die een 'pathologische mentale status' kunnen onthullen, aldus ethiekprofessor Marcello Ienca en professor technologierecht Gianclaudio Malgieri. Denk aan neurodata die verwerkt worden door wearables voor apps gericht op bijvoorbeeld het verbeteren van slaap, mentaal welzijn of sportprestaties.¹²⁴ Het is echter nog de vraag of neurodata die verwerkt worden door de huidige consumentenapps in de praktijk ook écht als bijzondere persoonsgegevens aangemerkt zullen worden.¹²⁵ Claims van ontwikkelaars over het meten van mentale gezondheid worden namelijk vaak overdreven (zie Hoofdstuk 3).

Naast de hierboven genoemde contexten (biometrisch, genetisch of gezondheidstoepassingen), waarbinnen neurodata verwerkt worden, zijn er nog een aantal categorieën die extra beschermd worden. Hierin kan informatie vallen die met behulp van AI-systemen afgeleid kan worden uit neurodata, als het gaat over

¹²⁰ Brazal e.a., 'TechDispatch on neurodata', 6 maart 2024.

¹²¹ Een overzicht van de categorieën staat in artikel 9 AVG.

¹²² Vinders e.a., 'Comparative analysis of national legal case studies. On the emerging technologies of climate engineering, neurotechnologies and digital extended reality', 30 december 2022.

¹²³ Volgens sommige experts is *brain fingerprinting* denkbaar, bijvoorbeeld op het werk, op vliegvelden of in het strafrecht, en is de AVG-categorie biometrische gegevens daarom relevant. Zie bijvoorbeeld Australian Human Rights Commission, 'Protecting Cognition', 12 maart 2024; Rommelfanger, 'Humanistic neurotechnology. A new opportunity for Spain', 2024. Maar de experts die wij ondervroegen achten deze toepassingen niet realistisch.

¹²⁴ Ienca en Malgieri, 'Mental data protection and the GDPR', 1 januari 2022.

¹²⁵ Ienca en Malgieri.

bijvoorbeeld iemands leeftijd, etnische afkomst, politieke opvattingen, religieuze overtuigingen, of seksuele voorkeur.

In de meeste gevallen worden neurodata, en bijvoorbeeld de herinneringen en voorkeuren die eruit afgeleid kunnen worden, dus alleen extra beschermd bij verwerking binnen bepaalde contexten.¹²⁶ Rainey stelt dat zowel de context als het oorspronkelijke verwerkingsdoel niet leidend zouden moeten zijn in de privacywetgeving, maar de potentie die de data hebben om bij (her)gebruik intieme informatie prijs te geven.¹²⁷ Ienca en Malgieri betogen dat de lijst van bijzondere persoonsgegevens gewoon niet compleet is en bijvoorbeeld uitgebreid moet worden met 'emoties' en 'gedachten'.¹²⁸ Dit zou niet alleen de informationele, maar ook de mentale privacy beter beschermen, zowel in het kader van neurotechnologie, als bijvoorbeeld sociale media en profilering op basis van trackingcookies.

Inzet van neurodata in het strafrecht

Wanneer neurodata of daaruit afgeleide informatie bijzondere persoonsgegevens opleveren en ingezet worden voor strafrechtelijke doeleinden, zijn de EU Law Enforcement Directive en nationale Wet politiegegevens en Wet justitiële en strafvorderlijke gegevens van toepassing. Die wetten staan toe dat neurodata gebruikt worden voor de opsporing en preventie van strafbare feiten. In de rechtspraak lijkt het Hof van Justitie van de Europese Unie een balans te zoeken tussen de opsporingsbelangen van de politie en de rechten van individuen, zoals verdachten. Uiteindelijk mag de politie veel, zolang het duidelijk in de wet staat beschreven. Denk hierbij bijvoorbeeld aan verdachten onder dwang biometrische of genetische gegevens laten afstaan en het doorzoeken van smartphones.¹²⁹ Het is momenteel nog de vraag of het Hof deze lijn zal doorzetten naar neuro-wearables en neurodata.

5.4. Regulering van AI-systemen

De toepassing van neurotechnologie kan impact hebben op verschillende publieke waarden, zowel op individueel niveau als op het niveau van de samenleving, zoals besproken in hoofdstuk 3. In deze paragraaf gaan we eerst in op de bescherming van deze waarden in de regulering van de AI-systemen die bijvoorbeeld bij neurofeedback en neuromodulatie gebruikt worden. Voor deze systemen geldt de nieuwe AI-verordening¹³⁰, wereldwijd het eerste uitgebreide AI-reguleringsraamwerk. Dit heeft

¹²⁶ Artikel 9 en overweging 51 AVG en zie bijvoorbeeld The Regulatory Horizons Council, 'Neurotechnology regulation', 2022; Vinders e.a., 'Comparative analysis of national legal case studies. On the emerging technologies of climate engineering, neurotechnologies and digital extended reality', 30 december 2022.

¹²⁷ Rainey e.a., 'Is the European Data Protection Regulation sufficient to deal with emerging data concerns relating to neurotechnology?', 25 juli 2020.

¹²⁸ Ienca en Malgieri, 'Mental data protection and the GDPR', 1 januari 2022; Santiago e.a., 'TechEthos D4.1', 6 juli 2022.

¹³⁰ Verordening (EU) 2024/1689 van het Europees Parlement en de Raad van 13 juni 2024 tot vaststelling van geharmoniseerde regels betreffende artificiële intelligentie en tot wijziging van de Verordeningen (EG) nr. 300/2008, (EU) nr. 167/2013, (EU) nr. 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1139 en (EU) 2019/2144, en de Richtlijnen 2014/90/EU, (EU) 2016/797 en (EU) 2020/1828 (verordening artificiële intelligentie) (hierna: AI-verordening). De EU-wet is in augustus 2024 in werking getreden en wordt de komende jaren gefaseerd van kracht. In juli 2024 vond de publicatie van de AI-verordening in het Europees publicatieblad plaats en 1 augustus trad de wet in werking. De verbodsbepalingen die hieronder besproken worden, worden 1 februari 2025 al van kracht. In augustus volgen de regels voor *general purpose*

(gezien het ‘Brusseleffect’)¹³¹ veel potentie om bij te dragen aan mentale privacy en rechtvaardigere neurotechnologieën. Bij de wet kunnen echter ook een aantal kritiekpunten en vraagtekens geplaatst worden, omdat de reikwijdte van bepalingen soms onduidelijk zijn, en omdat de vele uitzonderingen de wet ontkrachten.

In paragraaf 4.5 bespreken we vervolgens het bredere mensenrechtenkader dat relevant is voor de (potentiële) impact van neurotechnologie op de waarden privacy, autonomie en identiteit. Zijn er nieuwe neurorechten nodig? Of volstaan de bestaande rechten: het recht op privacy, de vrijheid van gedachte, het recht op integriteit en het beginsel van waardigheid?

Onduidelijkheden rondom de reikwijdte van AI-verordening

Allereerst is het een gemis dat de bepalingen van de AI-verordening niet specifiek ingaan op neurotechnologie. Neurotechnologie-toepassingen zouden gereguleerd kunnen worden als hoog risicosystemen, bijvoorbeeld als ze gebruikt worden om in het onderwijs een curriculum of individuele leerprestaties te verbeteren,¹³² op de werkvloer prestaties te beoordelen,¹³³ de toegang tot essentiële diensten en uitkeringen te bepalen¹³⁴ of door rechtshandavingsinstanties of asiel- en migratiediensten ingezet worden voor bijvoorbeeld identificatie, leugendetectie of recidivevoorspelling.¹³⁵ Maar voor welk soort toepassingen dit precies zal gelden, is nog onduidelijk. De categorieën zijn opgesteld aan de hand van heel specifieke gedragingen in hele specifieke situaties, in plaats van soorten AI-systemen, zoals die in BCI's.

Ook de categorieën verboden AI-systemen zijn in lange en vage zinnen geformuleerd. Bijvoorbeeld het verbod op subliminale technieken, waar bepaalde vormen van neuromarketing en profilering en personalisatie op basis van neurodata onder zouden kunnen vallen.¹³⁶ De bepaling bevat kwalificerende woorden als ‘wezenlijk’, ‘redelijkerwijs waarschijnlijk’ en ‘aanzienlijk’. En wanneer is het gedrag van betrokkenen op ‘schadelijke wijze’ beïnvloed en hebben technieken geleid tot een genomen beslissing die iemand ‘anders niet had genomen’?¹³⁷ Ook worden bijvoorbeeld AI-

AI (waaronder veel generatieve AI-modellen vallen). In augustus 2026 volgen de meeste regels voor hoog risico-systemen, maar in augustus 2027 pas de verplichtingen voor hoog risico-systemen die onderdeel uitmaken van producten die onder bestaande productveiligheidsregelgeving zoals de MDR vallen.

¹³¹ Deze term is afkomstig van de Fins Amerikaanse hoogleraar rechten Anu Bradford, zie Bradford, *The Brussels Effect*, 1 maart 2020. Het houdt in dat EU-regelgeving vaak mondiaal doorwerkt via marktmechanismen.

¹³² Artikel 6 en Bijlage III lid 3.

¹³³ Artikel 6 en Bijlage III lid 4.

¹³⁴ Artikel 6 en Bijlage III lid 5.

¹³⁵ Artikel 6 en Bijlage III lid 6 en 7.

¹³⁶ Het gaat om AI-systemen die gebruikmaken van subliminale (niet-waarneembare) technieken waarvan personen zich niet bewust zijn of van doelbewust manipulatieve technieken, en die als doel of effect hebben dat de autonomie, besluitvorming en keuzes worden aangetast, met schadelijke gevolgen. In de overwegingen van de wet worden BCI's en VR genoemd als voorbeelden van technologieën die misleiding makkelijker maken, omdat hiermee stimuli beter op gebruikers afgestemd kunnen worden. Zie artikel lid 1 onder a en overweging 29. Andere relevante verboden categorieën in het kader van neuromarketing zijn mogelijk AI-systemen die gebruikmaken van kwetsbaarheden van personen, zoals een (mentale) handicap (artikel 5 lid 1 onder b en overweging 29) en 'biometrische categorisering' op basis van afgeleide gevoelige gegevens zoals politieke overtuiging of seksualiteit (artikel 5 lid 1 onder g en overweging 30).

¹³⁷ Voor kritische beschouwingen van de AI-verordening zie European Parliamentary Research Service Scientific Foresight Unit (STOA), *The Protection of Mental Privacy in the Area of Neuroscience*, 2024; Silva, 'The Artificial Intelligence Act', 30 augustus 2024.

toepassingen verboden die emoties afleiden in de context van werk of onderwijs.¹³⁸ Of aandacht en concentratie (die gemeten kunnen worden met behulp van neurotechnologie) aangemerkt zullen worden als ‘emoties’, valt nog niet te zeggen.¹³⁹

Veel uitzonderingen

Tot slot is een veelgehoord punt van kritiek van NGO's, academici en ook het Europees Parlement dat de eindversie van de AI-verordening teveel uitzonderingen en *loopholes* bevat. Zo staat in de overwegingen van de wet dat ‘gangbare en legitieme handelspraktijken, bijvoorbeeld in de reclamesector’ niet onder het verbod op subliminale technieken vallen. Ook bevat de wet veel uitzonderingen voor AI-systemen die ingezet worden in de context van strafrecht, asiel, migratie en andere overheidsstaken. Zo worden AI-systemen voor geautomatiseerde risicoprofilering in de opsporing verboden, tenzij de risicoprofilering slechts wordt gebruikt ter ondersteuning van de menselijke beoordeling.¹⁴⁰

Het gevaar van onduidelijk geformuleerde regels met veel uitzonderingen wordt bovendien versterkt door het zelfbeoordelingsregime. Hoog-risicosystemen mogen pas op de markt gebracht worden als de ontwikkelaar een ‘conformiteitsbeoordeling’ uitgevoerd heeft om te laten zien dat het voldoet aan allerlei productveiligheidseisen rondom bijvoorbeeld datakwaliteit en cybersecurity. Ook moet de ontwikkelaar mensenrechtenrisico's documenteren en anti-biasmaatregelen treffen.¹⁴¹ Het is echter in eerste plaats aan organisaties zelf om te bepalen of hun AI-systeem hoog risico is en in de meeste gevallen ook om de conformiteitsbeoordeling uit te voeren.

Neurotechnologie blijft mogelijk buiten schot

Kortom, hoewel het op papier dus lijkt alsof veel risicovolle toepassingen van neurotechnologie verboden of streng gereguleerd zullen worden, is de kans aanwezig dat ze toch buiten schot zullen blijven. Dit blijkt niet alleen uit de literatuur, maar stelt ook de juridische expert die wij spraken voor deze scan. Veel gaat afhangen van de concrete invulling van normen uit de wettekst in de geharmoniseerde standaarden die momenteel opgesteld worden, de richtlijnen voor de implementatie van de verboden

¹³⁸ N.B.: Toepassingen met een medisch doeleinde (mogelijk alle neurotechnologie die onder de MDR valt) of veiligheidsredenen (zoals de SmartCaps die met neurotechnologie vrachtwagenchauffeurs wakker houden) worden uitgezonderd van het verbod (artikel 5 lid 1 onder f en overweging 14, 18 en 44 AI-verordening). En emotieherkenningssystemen buiten de context van onderwijs en werk worden dus niet verboden, maar zijn wel hoog risico (artikel 6 en Bijlage III lid 1 onder c). Dit zou mogelijk kunnen gelden voor neurotechnologie die gebruikt wordt om de ervaring van gamers te verbeteren, of de agressiviteit of angst van consumenten te verminderen, maar dat zal zich nog moeten uitwijzen.

¹³⁹ Onder emoties schaaft de wet onder andere geluk, woede, weersin, verlegenheid, opwinding, schaamte, en plezier. Fysieke toestanden zoals pijn en vermoeidheid vallen er echter niet onder. Het ligt niet voor de hand om aandacht en concentratie als emoties te kwalificeren, aangezien het eerder cognitieve capaciteiten of staten zijn. Ze liggen echter wel dicht tegen emoties aan. Bovendien heeft de Europese Toezichthouder voor Gegevensbescherming (EDPS) het monitoren van de aandacht van leerlingen weleens genoemd als voorbeeld van een ‘gezichtsemotieherkenningssysteem’ (Vemou, Horvath, en Zerdick, ‘Techdispatch. Facial emotion recognition’, 2021.), en door STOA worden onder andere ‘verwarring, verveeldheid en tevredenheid’ genoemd als voorbeelden van emoties die afgeleid kunnen worden met neurotechnologie, terwijl ‘aandachtsniveau’ in de categorie van overige mentale staten geplaatst lijkt te worden (European Parliamentary Research Service Scientific Foresight Unit (STOA), *The Protection of Mental Privacy in the Area of Neuroscience*, 2024.). Kortom: wat de Europese Commissie en Europese en nationale toezichthouders onder emoties scharen, zal zich nog moeten uitwijzen (Silva, ‘The Artificial Intelligence Act’, 30 augustus 2024.).

¹⁴⁰ European Centre for Non-Profit Law, ‘Packed with Loopholes’, 3 april 2024.

¹⁴¹ Slechts in bepaalde gevallen moet de een onafhankelijke certificeringsorganisatie de conformiteitsbeoordeling uitvoeren, voor een overzicht van wanneer zo'n *notified body* verplicht is, zie Islam, ‘Article 43’.

waaraan de AI Office van de Europese Commissie op dit moment werkt,¹⁴² de beantwoording van vragen in de rechtspraktijk, en de opbouw van kennis, capaciteit en coördinatie bij en tussen toezichthouders.¹⁴³

5.5. Bredere discussie over neurorechten

De risico's van neurotechnologie voor privacy, autonomie en identiteit, die voortvloeien uit een inmenging in de mentale toestanden van een individu en de kansen voor zelfontplooiing, vormen de basis van de discussie over 'neurorechten' die wereldwijd gevoerd wordt. Onder neurorechten worden in de literatuur verschillende rechten geschaard, bijvoorbeeld op mentale privacy, mentale of persoonlijke identiteit, psychologische continuïteit, vrije wil, vrijheid van gedachte, bescherming tegen algoritmische bias en (volgens sommigen) gelijke toegang tot mentale verbetering en de baten van neurotechnologie.¹⁴⁴

In de kern gaat de discussie over 'cognitieve vrijheid', of 'mentale zelfbeschikking', zo luiden de termen uit de literatuur. De hoofdvraag is of de mentale toestanden van individuen in het licht van opkomende neurotechnologieën (al dan niet na een geüpdatete uitleg door bijvoorbeeld rechters, rechtswetenschappers en academici) voldoende beschermd worden door nationale, Europese en internationale mensenrechtenkaders in huidige vorm, of dat er nieuwe neurorechten nodig zijn. Hierover bestaat nog geen consensus. Sommige experts zijn voor nieuwe neurorechten, terwijl anderen vinden dat een herinterpretatie van bestaande rechten voldoende is. Ook verschillen de meningen over de invulling van nieuwe rechten: moeten deze gericht zijn op het vermijden van risico's, of zijn er ook positieve rechten noodzakelijk?

Ook positieve neurorechten of alleen bescherming tegen risico's?

Zowel onder de voorstanders van een nieuwe uitleg van bestaande rechten, als onder bepleiters van nieuwe neurorechten, bestaat verdeeldheid over welke invulling precies aan de rechten gegeven zou moeten worden. Sommigen vinden dat cognitieve vrijheid of mentale zelfbeschikking ook de vrijheid moet omvatten om actief je mentale welzijn en cognitieve vaardigheden te verbeteren (positief recht).¹⁴⁵ Bovendien zou dit recht

¹⁴² European Commission, 'Commission Launches Consultation on AI Act Prohibitions and AI System Definition', 13 november 2024.

¹⁴³ Het toezicht komt te liggen bij de Autoriteit Persoonsgegevens, waarschijnlijk samen met allerlei sectorale toezichthouders, van de Inspectie Gezondheidszorg en Jeugd, tot de Voedsel- en Warenautoriteit, tot de Autoriteit Financiële Markten. De Rathenau Scan over generatieve AI gaat nader in op de haken en ogen aan het toekomstige toezicht op de AI-verordening, zie Rathenau Instituut, 'Rathenau Scan: Generatieve AI', 2023.

¹⁴⁴ Zie bijvoorbeeld Genser, Damianos, en Yuste, 'Safeguarding Brain Data: Assessing the Privacy Practices of Consumer Neurotechnology Companies', 2024; Genser, Herrmann, en Yuste, 'International Human Rights Protection Gaps in the Age of Neurotechnology', 2022; Goering e.a., 'Recommendations for Responsible Development and Application of Neurotechnologies', 1 december 2021; Ienca en Andorno, 'Towards New Human Rights in the Age of Neuroscience and Neurotechnology', december 2017; International Bioethics Commission, 'Ethical issues of neurotechnology', 2021; 'The Neurorights Foundation'; Yuste, Genser, en Herrmann, 'It's Time for Neuro-Rights', 2021. Voor een overzicht van welke verschillende rechten de verschillende academici precies onder neurorechten scharen, zie Tabel 7 van European Parliamentary Research Service Scientific Foresight Unit (STOA), *The Protection of Mental Privacy in the Area of Neuroscience*, 2024.

¹⁴⁵ Naast Farahany wordt dit positieve recht bepleit door bijvoorbeeld Genser, Herrmann, en Yuste, 'International Human Rights Protection Gaps in the Age of Neurotechnology', 2022; Genser, Damianos, en Yuste, 'Safeguarding Brain

kunnen betekenen dat gelijke toegang tot de baten van de technologie gestimuleerd moet worden, bijvoorbeeld door de kosten laag te houden.¹⁴⁶

Anderen, zoals de International Bioethics Committee van UNESCO, en neurorechtenpioniers Ienca en Adorno,¹⁴⁷ pleiten slechts voor een negatief recht op cognitieve vrijheid of mentale integriteit. Mensen moeten beschermd worden tegen inmenging in hun mentale processen door de overheid en anderen. Volgens hen zou het positieve recht kunnen leiden tot stigmatisering van neurodivergente mensen en uitvergroting van sociale ongelijkheden voor mensen die ‘achterblijven’ met inferieure capaciteiten, risico’s die ook in hoofdstuk 3 aan bod kwamen. Bovendien kan neuroverbetering ook ongewenste effecten hebben op iemands persoonlijke identiteit en psychologische continuïteit, waardoor het positieve recht dus op gespannen voet staat met neurorechten die dit juist moeten beschermen.

Bestaande verdragen zijn relevant, maar er zijn ook witte vlekken

De betekenis van bestaande rechten voor de bescherming tegen mogelijke risico’s van neurotechnologie is hierbij van belang. Het recht op privacy, de vrijheid van gedachten, en het recht op integriteit en beginsel van waardigheid zijn vastgesteld in verdragen zoals de nationale Grondwet,¹⁴⁸ het Europees Verdrag voor de Rechten van de Mens (EVRM),¹⁴⁹ het Handvest van de Grondrechten van de EU (Handvest),¹⁵⁰ en de Universele Verklaring van de Rechten van de Mens (UVRM)¹⁵¹. Ook de aankomende UNESCO Recommendation on the Ethics of Neurotechnology (verwacht in november 2025) is relevant.

Data: Assessing the Privacy Practices of Consumer Neurotechnology Companies’, 2024; ‘The Neurorights Foundation’; Yuste, Genser, en Herrmann, ‘It’s Time for Neuro-Rights’, 2021.. Volgens Farahany zou dit recht niet absoluut hoeven zijn en uitzonderingen in het algemeen belang moeten kennen, met een subsidiariteit en proportionaliteitstoets. Dit zou bijvoorbeeld kunnen betekenen dat de overheid geneeskundestudenten en artsen niet mag verbieden hun studie- en praktijkprestaties te verbeteren met neurotechnologie, maar wel mag verplichten om later hun patiënten hierover te informeren (een verplichting die bij een boekhouder misschien niet proportioneel is). Of dat wearables voor neuro-verbetering niet van de markt geweerd mogen worden, maar dat de staat wel veiligheidseisen mag stellen.

¹⁴⁶ Farahany, *The Battle for Your Brain*, 2023. en artikel 7 Universele Verklaring van de Rechten van de Mens (1948, 10 december), <https://wetten.overheid.nl/BWBO0001008/1948-12-10/0/> (hierna: UVRM). Gelijke toegang hangt samen met het beginsel dat alle mensenrechten iedereen zonder discriminatie moeten toekomen. In de literatuur wordt in dit kader eveneens het recht op de hoogst haalbare standaard van lichamelijke en geestelijke gezondheid aangevoerd. Zie artikel 2 en artikel 25 UVRM, 12 IVESCR, 25 IVRPH en 25 IVRK, Australian Human Rights Commission, ‘Protecting Cognition’, 12 maart 2024; Muñoz en Borbón, ‘Equal Access to Mental Augmentation’, 1 juli 2023.

¹⁴⁷ Ienca en Adorno, ‘Towards New Human Rights in the Age of Neuroscience and Neurotechnology’, december 2017; International Bioethics Commission, ‘Ethical issues of neurotechnology’, 2021.

¹⁴⁸ Grondwet, <https://wetten.overheid.nl/BWBR0001840/2023-02-22>.

¹⁴⁹ Verdrag tot bescherming van de rechten van de mens en de fundamentele vrijheden (1950, 4 november), <https://wetten.overheid.nl/BWBO0001000/2021-08-01> (hierna: EVRM).

¹⁵⁰ Handvest van de grondrechten van de Europese Unie (2009, 1 december), https://eur-lex.europa.eu/eli/treaty/char_2016/oj (hierna: Handvest).

¹⁵¹ NB: Hoewel de Universele Verklaring niet bindend is, vormt het een belangrijk richtsnoer voor de interpretatie van andere rechtsnormen. Veel fundamentele rechten zijn bovendien uitgewerkt in *verdragen* die wel bindend zijn: bijvoorbeeld in het Internationaal Verdrag inzake Burgerrechten en Politieke Rechten (IVBPR), het Internationale Verdrag inzake Economische, Sociale en Culturele Rechten (IVESCR), het Verdrag inzake de Rechten van Personen met een Handicap (IVRPH), het Verdrag tegen foltering en andere wrede, onmenselijke en ontorende behandeling of bestraffing (Folterverdrag) en het Internationale Verdrag inzake de Rechten van het Kind (IVRK). Deze instrumenten omvatten een directe verplichting voor overheden om de mensenrechten van burgers te *beschermen*. Daarnaast vloeit er in sommige gevallen een indirecte verplichting uit voort voor private partijen, zoals techbedrijven, om mensenrechten te *respecteren*, een principe dat de Verenigde Naties ook in praktijk proberen te brengen met de *Guiding Principles on Business and Human Rights*.

Onze analyse laat verschillende mogelijke witte vlekken zien in de bescherming tegen de risico's van neurotechnologie binnen bestaande rechten:

- Het uitlezen en analyseren van neurodata via welke technologie dan ook, wordt gedekt door het privacyrecht, dat echter niet absoluut is.
- Beïnvloeding van consumenten op basis van die neurodata, valt waarschijnlijk niet onder het privacyrecht en mogelijk ook niet onder de vrijheid van gedachte, geweten en godsdienst. Dat laatste is echter onzeker, omdat het 'gedachte'-deel van het recht onderontwikkeld is. De Mensenrechtenraad van de Verenigde Naties en het Europees Hof voor de Rechten van de Mens hebben zich hier zelfs nog nooit over uitgesproken. Rechters, mensenrechtenorganisaties en academici moeten hier opheldering bieden.
- Onvrijwillige, invasieve neuro-ingrepen zijn niet verenigbaar met het integriteitsrecht. De inzet van neurotechnologie voor strafrechtelijke toepassingen staat op gespannen voet met het folterverbod en het recht op een eerlijk proces.
- In medische context gelden aanvullende verdragen, zoals de *Universal Declaration on Bioethics and Human Rights* (UDBHR) en de Oviedo Conventie inzake Mensenrechten en Biogeneeskunde (Oviedo-conventie). Ze bevatten met name rechten rond autonomie, toestemming en gegevensbescherming. Wanneer sprake is van een medische context, staat echter niet vast.
- Tenslotte is er het rechtsbeginsel van menselijke waardigheid. Dit zou volgens juridisch ethisch expert Britta Van Beers richting kunnen geven aan een vernieuwde interpretatie van mensenrechten. Zeker nu neuro- en andere biotechnologie steeds meer het consumentendomein betreedt.¹⁵²

Hoewel er voor- en tegenargumenten aan te voeren zijn voor nieuwe neurorechten, is het in ieder geval essentieel dat de discussie over aanvullende bescherming voor cognitieve vrijheid – met name die van consumenten, dus buiten de medische of strafrechtelijke context – voortgezet wordt. Wanneer mensenrechten in het geding zijn is het essentieel dat een balans gevonden wordt tussen de belangen van het individu en de samenleving als geheel. Kansen voor zelfontplooiing en mentale gezondheid staan op gespannen voet met de risico's voor inclusiviteit en democratische controle die in Hoofdstuk 3 aan bod kwamen. Het is dus belangrijk dat nader onderzocht en blijvend gemonitord wordt hoe neurotechnologie (op de lange termijn) effect kan hebben op deze belangen.¹⁵³

Kinderrechten

Tot slot dient te worden stilgestaan bij de rechten van kinderen. In Hoofdstuk 3 werd immers duidelijk dat neurotechnologie extra schadelijk voor hen zou kunnen zijn. Hun fysieke brein, maar ook hun identiteit zijn nog volop in ontwikkeling en kinderen zijn kwetsbaarder voor beïnvloeding. Het Internationaal Verdrag voor de Rechten van het

¹⁵² Van Beers, 'Menselijke waardigheid in tijden van big data en Big Tech', 2024.

¹⁵³ Borbón en Borbón, 'A Critical Perspective on NeuroRights', 25 oktober 2021; Muñoz en Borbón, 'Equal Access to Mental Augmentation', 1 juli 2023.

Kind bepaalt dat het 'belang van het kind' de eerste overweging moet zijn bij alle handelingen die een kind betreffen.¹⁵⁴ Dit betekent volgens het verantwoordelijke VN-Comité dat aanbieders van digitale diensten, deze diensten moeten afstemmen op de ontwikkelende capaciteiten van kinderen. Wat betreft neuromarketing, stelt het VN-Comité dat dit verdergaande gevolgen zou kunnen hebben dan eerdere gerichte marketingtechnieken en dat het daarom verboden moet worden om kinderen ermee in direct of indirect contact te laten komen.¹⁵⁵

¹⁵⁴ Artikel 3 IVRK.

¹⁵⁵ Australian Human Rights Commission, 'Protecting Cognition', 12 maart 2024. en Committee on the Rights of the Child, General comment No. 25 on children's rights in relation to the digital environment, 2021.

Kader 2 Unesco Recommendation on the Ethics of Neurotechnology

Op dit moment vindt de intergouvernementele fase plaats van de UNESCO Recommendation on the Ethics of Neurotechnology, die in november 2025 zal resulteren in een eindtekst.¹⁵⁶ Het wordt een *governance*-raamwerk dat lidstaten kunnen omzetten in nationaal beleid, met aanbevelingen die variëren van regulering, *impact assessments*, verboden en individuele rechten tot stimuleringsmaatregelen, kennisuitwisseling en standaardisering.¹⁵⁷

Voor EU-lidstaten geldt dat de Algemene Verordening Gegevensbescherming en AI-verordening in theorie al tegemoetkomen aan een aantal aanbevelingen die betrekking hebben op persoonsgegevensbescherming, het mitigeren van risico's in de context van werk en onderwijs. Maar zoals hierboven duidelijk werd, schieten deze wetten in de praktijk mogelijk tekort. Bovendien gaan deze wetten niet specifiek in op neurotechnologie en -data, en de UNESCO-aanbevelingen wel.

Het raamwerk bevat echter ook nog leemtes. Zo wordt weinig aandacht besteed aan neurotechnologie-toepassingen in het domein van justitie en defensie, terwijl hieraan vergaande risico's voor de mentale en fysieke veiligheid kleven.¹⁵⁸ Ook besteedt het document geen aandacht aan potentiële langetermijnsrisico's van mogelijk grootschalige toepassing van neuroverbeteringstechnieken, zoals afhankelijkheid van gebruikers, groeiende ongelijkheden en de effecten op sociale interactie die kunnen optreden als gebruikers straks op een andere manier informatie verwerken en communiceren.¹⁵⁹

¹⁵⁶ UNESCO, First draft the Recommendation on the Ethics of Neurotechnology, 2024.

¹⁵⁷ De aanbevelingen zijn ingedeeld in verschillende clusters van beleidsacties: overheidsgebruik van neurotechnologie en overheidsinvesteringen en -regulering; gegevensbescherming; intellectueel eigendom; cyberveiligheid; en publiekscommunicatie, -participatie en -informatie. Daarnaast wordt aandacht besteed aan specifieke gebruikersgroepen die extra bescherming behoeven, zoals kinderen, ouderen, vrouwen en mensen met een handicap. Hetzelfde geldt voor specifieke toepassingsdomeinen: onderwijs, werk en commercie.

¹⁵⁸ Global Partners Digital, 'GPD response to consultation on the first draft of UNESCO Recommendation on the Ethics of Neurotechnology', juli 2024.

¹⁵⁹ Eke e.a., 'Responsible Neurotechnology. ANDM's response to UNESCO's Draft Recommendation on the Ethics of Neurotechnology', 5 augustus 2024.

5.6. Conclusie

Buiten toepassingen voor kinderen, de medisch-wetenschappelijke context en het domein van justitie bieden de nationale, Europese en Internationale wetten mogelijk nog onvoldoende bescherming van gebruikers tegen nadelige gevolgen van neurotechnologie. Dit komt met name doordat het complex is om de praktijk juridisch te definiëren en categoriseren. Wat is een emotie? Wat valt er onder gedachte? Wanneer zeggen data iets over je gezondheid?

De systemen waarmee neurodata verzameld worden moeten soms aan de veiligheidsvoorschriften van de MDR voldoen, maar wanneer sprake is van een medische of gezondheidscontext, is niet altijd duidelijk. Hetzelfde geldt voor de Oviedo-conventie, de UDBHR en de definitie van gezondheidsgegevens in de AVG. Wanneer de neurodata in die of een andere categorie bijzondere persoonsgegevens vallen en de privacy van betrokkenen dus extra beschermd wordt, is eveneens niet zeker.¹⁶⁰ Daarnaast brengen neurodata inherente uitdagingen mee ten aanzien de AVG-basisbeginselen van gegevensbescherming, zoals geïnformeerde toestemming en doelbinding. Wanneer de neurodata vervolgens geanalyseerd worden, kan de AI-verordening een rol spelen, maar dit geldt slechts voor hele specifieke toepassingen, onder voorwaarden die onduidelijk geformuleerd zijn, en waarbij veel uitzonderingen en een regime van zelfbeoordeling gelden.

Tot slot bestaat binnen academische kringen nog weinig consensus over de reikwijdte van relevante mensenrechten en in hoeverre die mentale toestanden en dus cognitieve vrijheid beschermen. Het is daarom cruciaal dat lidstaten en internationale mensenrechtenorganisaties doorpraten over de juiste manier om cognitieve vrijheid te beschermen – herinterpretatie, herformulering of aanvulling van nationale grondwetten en internationale verdragen.¹⁶¹

Op dit moment geldt dat echter evengoed voor andere algoritmische beïnvloeding. Of tegen neurotechnologie méér bescherming nodig is dan tegen bijvoorbeeld dataverwerking via trackingcookies of VR-brillen, hangt af van de technische ontwikkelingen op lange termijn: wordt het ooit mogelijk om daadwerkelijk gedachten te lezen met neurotechnologie? Tot die tijd moet de mensenrechtendiscussie eerder gaan over het gevaar van algoritmische beïnvloeding voor cognitieve vrijheid in bredere zin. Kortom: of de risico's die neurotechnologie meebrengt voor informationele en mentale privacy, autonomie en identiteit, fysieke veiligheid en mentale gezondheid, en democratische controle en inclusiviteit voldoende gemitigeerd worden door huidige wetgeving, is onzeker. Op bepaalde hierboven genoemde punten schiet het recht in elk geval tekort, of is opheldering door academici, rechters of toezichthouders nodig.

¹⁶⁰ Ienca, Haselager, en Emanuel, 'Brain Leaks and Consumer Neurotechnology', oktober 2018.

¹⁶¹ Australian Human Rights Commission, 'Protecting Cognition', 12 maart 2024; Ligthart, 'Mental privacy as part of the human right to freedom of thought?', 2024.

6. Handelingsopties

6.1. Introductie

In deze scan beschreven we wat neurotechnologie is en hoe het werkt (hoofdstuk 1), welke toepassingen van deze technologie ontwikkeld worden (hoofdstuk 2), welke kansen en risico's neurotechnologie meebrengt voor publieke waarden (hoofdstuk 3), en welke beleidsinstrumenten er op dit moment bestaan voor het beschermen en realiseren van de publieke waarden (hoofdstuk 4).

Na lang vooral ingezet te zijn binnen neurowetenschappelijk onderzoek en in het medische domein, treedt neurotechnologie inmiddels langzaam andere, ook commerciële, domeinen binnen. Ook grote technologiebedrijven lijken neurodata te willen gaan verzamelen en gebruiken. Daarnaast worden er steeds vaker experimenten gedaan met non-invasieve neurotechnologie in domeinen zoals het onderwijs, de werkvloer, rechtspraak, sport en defensie. De kansen die deze ontwikkeling met zich meebrengt, liggen vooral op het gebied van het verbeteren van cognitieve vaardigheden en (mentale) gezondheid en welzijn van de individuele gebruikers. De risico's die in deze scan worden beschreven zijn breder, en raken in theorie de kern van ons mens-zijn omdat ze gaan over de vrijheid van gedachten en hoe deze onder invloed staan van machtsrelaties tussen aanbieders en (niet-) gebruikers van neurotechnologie.

De scan laat zien dat draagbare, non-invasieve beeldvormende technologie tot andersoortige kansen en risico's leidt, op een kortere termijn, dan niet-draagbare of invasieve technologie. In dit hoofdstuk bieden we beleidsmakers en politici handelingsopties om de risico's rond neurotechnologieën te mitigeren en daarmee juist de kansen te benutten (zie ook figuur 3). We bespreken eerst handelingsopties voor risico's op de korte termijn, en daarna voor risico's op de langere termijn. Beiden vragen om actie in de nabije toekomst.

Figuur 3: Handelingsopties



Handelingsopties voor het benutten van kansen en het mitigeren van risico's op korte termijn

Op korte termijn kan verwacht worden dat er veel draagbare apparaten op de markt zullen komen die met EEG werken. De risico's die deze ontwikkeling met zich meebrengt liggen in het verlengde van andere dataprivacy discussies, maar gaan ook echt een stap verder, doordat deze technologie letterlijk en figuurlijk dicht op (of onder) de huid zit. Met EEG kan veel intieme, persoonlijke data gemeten worden in veel verschillende contexten die ook kunnen worden gecombineerd met andere gevoelige data. We zien de volgende handelingsopties:

Zet in op een beschermingsstrategie voor neurodata op Europees niveau

Onze beleidsanalyse laat zien dat neurodata mogelijk onvoldoende wordt beschermd. Zo valt neurodata in de meeste gevallen waarschijnlijk niet onder de definitie van 'biometrische gegevens', die onder de AVG een speciale bescherming genieten. Omdat neurodata een zeer intieme vorm van data betreffen, en er toepassing van zijn binnen meer 'gevoelige' contexten zoals werk (afhankelijkheidsrelatie), onderwijs (kinderen), rechtspraak en sport (oneerlijke voorsprong), is het belangrijk om in Europees verband na te gaan op welke manier deze neurodata beschermd dienen te worden.

Er zijn verschillende beschermingsstrategieën mogelijk:

- Verbreed het begrip biometrische data door het vereiste van identificatie als verwerkingsdoel weg te laten, zoals in de AI-verordening gebeurt.
- Voeg biologische (of neurologische) gegevens toe als nieuwe categorie bijzondere persoonsgegevens, zoals gebeurde in Colorado.¹⁶² Die kent een privacywet die vergelijkbaar is met de AVG, waaraan met een recente wetswijziging de categorie 'biologische gegevens' toegevoegd, waarbinnen de subcategorie 'neurale gegevens' valt.
- Formuleer om de rechtszekerheid ten goede te komen specifieke richtlijnen voor neurotechnologie van de Europese en nationale toezichthouders, voor bedrijven en andere organisaties die neurodata verwerken.
- Ook kunnen toezichthouders de verplichte 'voorafgaande raadpleging' proactief onder de aandacht brengen bij aanbieders. Dit betekent dat wanneer nieuwe manieren van dataverwerking door ontwikkelaars of zakelijke gebruikers van neurotechnologie leiden tot overduidelijke grote, of onoverzichtelijke risico's, ze eerst goedkeuring en advies moeten vragen aan de toezichthouder – in Nederland de Autoriteit Persoonsgegevens.
- Vergroot de kennis en capaciteit bij toezichthouders. Vanwege het grote aantal aanbieders van digitale technologieën en een gebrek aan transparantie in hun bedrijfsvoering is handhaving ingewikkeld. Daarnaast zijn boetes vaak niet in verhouding tot winsten die worden gemaakt.

Bepaal hoe om te gaan met gepersonaliseerde marketing met behulp van neurodata

Zelfs als je niet 'meer' kan met neurodata dan met andere intieme gegevens als pupilreflexen en hartslag, moet neurodata worden meegenomen in een bredere discussie over digitale marketing. De gewenste benadering van hyperpersonalisatie en manipulatie op basis van intieme fysiologische gegevens, in het bijzonder bij kinderen, vraagt om meer politiek debat. De aangekondigde Digital Fairness Act is hier een goede aanleiding voor.

Blijf werk maken van Europese neurotechnologie en de bijbehorende infrastructuur

Zet in op Europese neurotechnologie en Europese alternatieven op het gebied van hardware en data-infrastructuur. Hiermee kan de ontwikkeling van neurotechnologie gestuurd worden, houden Europese overheden grip op het verzamelen en delen van neurodata, en wordt Europese onafhankelijkheid gewaarborgd. Stimuleer kennisuitwisseling en data-uitwisseling tussen wetenschappers en ontwikkelaars in Europa, zoals gedaan wordt bij E-brains, het vervolg op het Europees gefinancierde The Human Brain Project.

¹⁶² Pullen Guercio, 'Making (Brain) Waves', 22 januari 2024.

Stimuleer publieke dialoog over steeds intiemere opkomende technologieën, én cognitieve vrijheid

Ga met de bredere samenleving in gesprek over de toepassingsgebieden die we in deze scan omschrijven, en over de aspecten die hierbij wel en niet wenselijk zijn. Nu is hiervoor het moment, omdat de ontwikkeling en implementatie in de samenleving nog begeleid kan worden. Zit de samenleving te wachten op toepassingen van neurotechnologie buiten de medische sector, en het delen van neurodata, en onder welke voorwaarden? Voor een goede dialoog is het belangrijk om de samenleving op een evenwichtige manier te informeren over neurotechnologie, om te voorkomen dat wordt bijgedragen aan hype en misinformatie.

Ga ook met de bredere samenleving in gesprek over cognitieve vrijheid. Wat is eigenlijk vrijheid van gedachten? Over welk soort gedachten hebben we het dan? Willen we die beschermen tegen manipulatie, tegen uitlezen of tegen beide? Wie zou hier over moeten beslissen? Wat is ervoor nodig om dit te waarborgen? Enkel denken vanuit de mogelijkheden en beperkingen van technologie kan de dialoog namelijk vernauwen en afleiden van onderliggende, meer fundamentele discussies die ook van toepassing zijn op andere digitale technologieën, die al langer bestaan en wijdverspreid zijn in de samenleving. Zo roepen niet alleen neurotechnologie en immersieve technologie, maar ook sociale media, online tracking en algoritmische (hyper)personalisatie vragen op over en beïnvloeding, manipulatie en cognitieve vrijheid. Veel van de geraadpleegde experts waren bijvoorbeeld voorstander van het verbreden van onaantastbaarheid naar de sferen van zowel lichaam als geest, en de samenhang daartussen. Maar wat vindt de samenleving?

Vergroot het zicht op witte vlekken in de wetgeving

Vragen die nog openstaan zijn bijvoorbeeld: welke neurotechnologie-toepassingen zijn wel en niet medische hulpmiddelen in de zin van de MDR? Wanneer zijn neurodata gezondheidsgegevens onder de AVG? Wanneer is sprake van een gerechtvaardigd belang bij neuromarketing? Hoe wordt door aanbieders van bestaande consumenten-neurotechnologie om toestemming gevraagd en voldoet dit aan de AVG? Welke toepassingen worden gedekt door de vrijheid van gedachte? Opheldering van deze discussies vraagt om nader onderzoek door toezichthouders en rechters, juristen en technische experts.

Besteed bijzondere aandacht aan neurotechnologie bij de monitoring van de implementatie van de nieuwe AI verordeningen en het toetsen van effectiviteit. Monitoring en toetsing is aangekondigd in de kabinetsvisie generatieve AI, en actiepunten kunnen hierbij verder worden geconcretiseerd, waaronder voor AI systemen die worden toegepast bij neurotechnologie.

6.2. Handelingsopties voor het benutten van kansen en het mitigeren van risico's op de langere termijn

Neurotechnologieën, zoals invasieve hersenimplantaten, apparaten die de hersenen direct beïnvloeden (moduleren) en niet-draagbare beeldvormende neurotechnologie, bieden meer mogelijkheden om mentale toestanden in beeld te brengen of te beïnvloeden dan draagbare technologie, maar zijn nog sterk in ontwikkeling. De mogelijkheden van AI en het toetreden van grote technologiespelers zou wel voor een versnelling van ontwikkeling kunnen zorgen.

Onze raadpleging van literatuur en experts biedt geen uitsluitend over in hoeverre met neurotechnologie meer informatie over mentale toestanden van individuele personen zou kunnen worden afgeleid, dan op basis van gegevens die nu al op grote schaal worden verzameld, zoals webbrowserdata. Als neurotechnologie mentale toestanden in de toekomst echter wél dichter kan benaderen, dan is de kans groot dat neurotechnologie relatief snel en breed geïmplementeerd wordt. Dit biedt veel kansen, ook buiten de publieke sector, op de consumentenmarkt. Tegelijkertijd nemen dan ook de risico's van het gebruik van neurotechnologie aanzienlijk toe.

De brede maatschappelijke risico's van bijvoorbeeld hersenimplantaten zijn daarmee van een langere termijn en hogere onzekerheid, terwijl risico's van een ingrijpende aard zijn. Om hiermee om te gaan, zien we de volgende handelingsopties:

Formuleer een strategie om de ontwikkelingen op het gebied van neurotechnologie te monitoren

Houd als overheid vinger aan de pols houden bij de ontwikkeling van neurotechnologie. Ontwikkel een strategie om de ontwikkelingen op het gebied van neurotechnologie te monitoren, en betrek daarbij beleidsmakers, neurowetenschappers, bedrijven en neuro-ethici. Hiermee wordt zicht gehouden op wat er mogelijk aan innovatie in de pijplijn van bedrijven zit, en wat daarvan de maatschappelijke impact kan zijn.

Leg verantwoordelijkheden vast in relatie tot hersenimplantaten

Houdt rekening met doelverschuiving van hersenimplantaten. Als een implantaat eenmaal is goedgekeurd voor gebruik op de Europese markt, dan is het aan de arts om te beslissen of een behandeling hiermee bij een individu 'effectief' is voor zijn of haar probleem. Wie is verantwoordelijk voor de manier waarop de technologie wordt ingezet/toegepast? Hier moet specifieke aandacht voor zijn in het beoordelingsproces van deze implantaten.

Leg vast wat er moet gebeuren als een aanbieder van implantaten failliet gaat - wie is er dan verantwoordelijk voor het implantaat? Waar het gaat om *state-of-the art* neurotechnologie, is het niet vanzelfsprekend dat een andere partij het implantaat van patiënten kan ondersteunen of updaten.

Verken de noodzaak voor een betere bescherming van mentale toestanden

Voor de bescherming van mentale toestanden zijn opties bijvoorbeeld:

- Laat rechters, mensenrechtenraden, -rapporteurs en -commissies, en rechtswetenschappers in de nationale, Europese en het internationale recht de in praktijk bestaande rechten opnieuw interpreteren, en nader uitleggen in de context van specifieke opkomende technologieën zoals neurotechnologie. Jurisprudentie over de reikwijdte van 'gedachte' ontbreekt nu nog, maar zou duidelijkheid kunnen bieden.
- Moderniseer de Grondwet, naar voorbeeld van Chili: in haar constitutie hebben neurodata dezelfde status gekregen als organen. Hebben ze verhandeling verboden en wordt mentale integriteit expliciet beschermd.¹⁶³
- Voer een nieuw constitutioneel of internationaal recht in dat minder specifiek is geformuleerd dan neurorechten, waardoor het risico op rechteninflatie minder groot wordt en mensen ook beschermd worden tegen andere technologieën en vormen van dataverwerking waarmee hun gedachten en gedrag evengoed gemanipuleerd kunnen vormen, zoals de aanbevelingsalgoritmes van sociale media. Een voorbeeld daarvan is het recht om niet gesurveilleerd en heimelijk beïnvloed te worden, zoals het Rathenau Instituut eerder voorstelde in een rapport over mensenrechten ten tijde van robots.¹⁶⁴
- Wees nauw betrokken bij de formulering van het UNESCO-raamwerk voor neurotechnologie, en zet tijdens de intergouvernementele fase in op een eindversie van waaruit een verantwoorde en veilige ontwikkeling en inzet van neurotechnologie gerealiseerd kunnen worden.

¹⁶³ Cornejo-Plaza, Cippitani, en Pasquino, 'Chilean Supreme Court Ruling on the Protection of Brain Activity', 2024; Guzmán, 'Chile', maart 2022.

¹⁶⁴ Rathenau Instituut, 'werken aan de robotsamenleving', 2015.

Begrippenlijst

Beeldvormende neurotechnologie

Neurotechnologie die als doel heeft om informatie over mentale toestanden in beeld te brengen door hersenactiviteit te meten.

Brain-computer interface

Een BCI kan worden gezien als technologie die de hersenen verbindt met externe apparatuur, de link tussen biologie en technologie. Zo kan met behulp van een BCI de hersenactiviteit van een persoon zichtbaar gemaakt worden op een computer. Bij neuromodulatie werkt het andersom- de BCI zet informatie om in signalen waar je hersenen op reageren.

EEG (elektro-encefalografie)

Een non-invasieve beeldvormende techniek waarbij elektroden op de schedel worden geplaatst om in een bepaald hersengebied elektrische activiteit te meten.

Invasieve neurotechnologie

Neurotechnologie die in de schedel wordt geplaatst en waar dus een operatie voor nodig is.

Neurodata

Digitale gegevens die fysiologische activiteit in de hersenen representeren.

Neurofeedback

Een toepassing van neurotechnologie waarbij informatie over mentale toestanden van een individuele gebruiker zo wordt gepresenteerd dat de gebruiker het kan interpreteren. Zo krijgt diegene extra inzicht in eigen mentale toestanden, om deze te kunnen verbeteren.

Neuromarketing

Marketing waarbij gebruik wordt gemaakt van inzichten over de hersenen.

Neuromodulatie

Het direct manipuleren ofwel beïnvloeden van hersenactiviteit met neurotechnologie.

Neurorechten

Rechten die als doel hebben om bescherming te bieden aan de hersenen, en daarmee aan mentale toestanden van een individu. In de kern gaan neurorechten over 'cognitieve vrijheid', of 'mentale zelfbeschikking'.

Neurotechnologie

Neurotechnologie is een paraplueterm voor alle soorten technologie die de activiteit van het centrale zenuwstelsel (waar de hersenen onder vallen) meet of beïnvloedt. Het gaat dus om een breed spectrum aan technologieën, waarbij sommige technologie – zoals

EEG – hersensignalen meet door de schedel heen, en andere technologie – zoals Deep Brain Stimulation (DBS) – in de hersenen wordt geïmplantéerd om hersenactiviteit te beïnvloeden. Neurotechnologie kan dus zowel invasief als niet-invasief zijn, en zowel modulerend (techniek die de hersenactiviteit direct beïnvloedt) als beeldvormend (techniek die hersenactiviteit in beeld brengt)

Non-invasieve neurotechnologie

Neurotechnologie die buiten de schedel geplaatst wordt.

Lijst van afkortingen

AI (-systemen)	Artificiële/kunstmatige intelligentie systemen
AR/VR	Augmented Reality/Virtual Reality
AVG	Algemene Verordening Gegevensbescherming
BCI	Brain-computer interface
DBS	Deep brain stimulation
EEG	Elektro-encefalografie
EHDS	European Health Data Space
EMG	Elektromyografie
EU	Europese Unie
EVRM	Europees Verdrag voor de Rechten van de Mens
fMRI	Functional magnetic resonance imaging
MDR	Medical Device Regulation/Verordening Medische Hulpmiddelen
UNESCO	Organisatie der Verenigde Naties voor Onderwijs, Wetenschap en Cultuur
UVRM	Universele Verklaring van de Rechten van de Mens
VN	Verenigde Naties

Literatuurlijst

Acarón Ledesma, Hector, Xiaojian Li, João Carvalho-de-Souza, Wei Wei, Francisco Bezanilla, en Bozhi Tian. 'An Atlas of Nano-Enabled Neural Interfaces'. *Nature Nanotechnology* 14, nr. 7 (juli 2019). <https://doi.org/10.1038/s41565-019-0487-x>.

Ackerman, Evan, en Eliza Strickland. 'Are You Ready for Workplace Brain Scanning?' *IEEE Spectrum*, 19 november 2022. <https://spectrum.ieee.org/neurotech-workplace-innereye-emotiv>.

Airhart, Marc. 'Brain Activity Decoder Can Reveal Stories in People's Minds'. The University of Texas at Austin College of Natural Sciences, 1 mei 2023. <https://cns.utexas.edu/news/podcast/brain-activity-decoder-can-reveal-stories-peoples-minds>.

Andrews, Russel, Mushfika Sultana, en Serafeim Perdikis. 'Neurotechnology: Brain-Computer and Brain-Machine Interfaces'. *MedLink Neurology*, 7 september 2024. <https://www.medlink.com/articles/neurotechnology-brain-computer-and-brain-machine-interfaces>.

AttentivU. 'AttentivU.Com', 2025. <https://www.attentivu.com>.

Australian Human Rights Commission. 'Protecting Cognition. Background Paper on Neurotechnology', 12 maart 2024. <https://humanrights.gov.au/our-work/technology-and-human-rights/publications/protecting-cognition-background-paper>.

Autoriteit Persoonsgegevens. 'Grondslag toestemming'. autoriteitpersoonsgegevens.nl. Geraadpleegd 8 december 2024. <https://www.autoriteitpersoonsgegevens.nl/themas/basis-avg/avg-algemeen/grondslag-toestemming>.

Awuah, Wireko Andrew, Arjun Ahluwalia, Kwadwo Darko, Vivek Sanker, Joecelyn Kirani Tan, Tenkorang Ohenewaa Pearl, Adam Ben-Jaafar, e.a. 'Bridging Minds and Machines: The Recent Advances of Brain-Computer Interfaces in Neurological and Neurosurgical Applications'. *World Neurosurgery*, 22 mei 2024, S1878-8750(24)00867-2. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2024.05.104>.

———. 'Bridging Minds and Machines: The Recent Advances of Brain-Computer Interfaces in Neurological and Neurosurgical Applications'. *World Neurosurgery*, 22 mei 2024. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2024.05.104>.

Azemi, Erdrin, Ali Moin, Anuranjini Pragada, Jean Hsiang-Chun Lu, Victoria M. Powell, Juri Minxha, en Steven P. Hoteling. Biosignal Sensing Device Using Dynamic Selection of Electrodes, issued 9 januari 2023. <https://patents.justia.com/patent/20230225659>.

BAM Nuttall. 'BAM Nuttall and SmartCap Technologies Collaborate to Monitor Construction Workers Fatigue Levels | Koninklijke BAM Groep / Royal BAM Group', 16 februari 2017. <https://www.bam.com/en/press/press-releases/2017/2/bam-nuttall-and-smartcap-technologies-collaborate-to-monitor>.

Bijlsma, J., S. H. Geukes, G. Meynen, M. a. H. Raemaekers, N. F. Ramsey, M. A. Simon Thomas, D. A. G. van Toor, en M. J. Vansteensel. 'Kansen En Risico's van de Toepassing van Neurotechnologie in Het Strafrecht'. Wetenschappelijk Onderzoek- en Documentatie Centrum van het Ministerie van Justitie en Veiligheid, 4 mei 2022. <https://repository.wodc.nl/handle/20.500.12832/3174>.

Booij, Els, en Wietse Van Bruggen. 'Neurotechnologie in het onderwijs. Voorbeelden van mens-computerinteractie'. *Kennisnet* (blog), 15 juni 2022. <https://www.kennisnet.nl/technologische-innovatie/neurotechnologie-in-het-onderwijs-voorbeelden-van-mens-computerinteractie/>.

Borbón, Diego, en Luisa Borbón. 'A Critical Perspective on NeuroRights: Comments Regarding Ethics and Law'. *Frontiers in Human Neuroscience* 15 (25 oktober 2021): 703121. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.703121>.

Bradford, Anu. *The Brussels effect. How the European Union rules the world*. New York: Oxford University Press, 2020. <https://scholarship.law.columbia.edu/books/232>.
Brain Research and Innovation Centre. 'ANIMA: Amygdala Neurofeedback Training in Military Aggression'. Brain research and innovation centre, 18 september 2019. <https://www.braic.nl/topics/anima>.

Brazal, Arturo, Francesca Pesce, Marta Beltrán, en Xabier Lareo. 'TechDispatch on neurodata'. European Data Protection Supervisor, 6 maart 2024. https://www.edps.europa.eu/system/files/2024-06/techdispatch_neurodata_en.pdf.

Bublitz, Christoph, en Sjors Ligthart. 'The new regulation of non-medical neurotechnologies in the European Union: overview and reflection'. *Journal of Law and the Biosciences* 11, nr. 2 (7 juli 2024): Isae021. <https://doi.org/10.1093/jlb/lcae021>.

Burwell, Sasha, Matthew Sample, en Eric Racine. 'Ethical aspects of brain computer interfaces: a scoping review' 18, nr. 60 (11 september 2017). <https://doi.org/10.1186/s12910-017-0220-y>.

Chen, Yanxiao, Fan Wang, Tianwen Li, Lei Zhao, Anmin Gong, Wenya Nan, Peng Ding, en Yunfa Fu. 'Several Inaccurate or Erroneous Conceptions and Misleading Propaganda about Brain-Computer Interfaces'. *Frontiers in Human Neuroscience* 18 (2024): 1391550. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2024.1391550>.

Coherent Market Insights. 'Global Neurotech Devices Market Size and Share Analysis - Growth Trends and Forecasts (2024-2031)'. Coherent Market Insights, februari 2024.

<https://www.coherentmarketinsights.com/industry-reports/global-neurotech-devices-market>.

Committee on the Rights of the Child. General comment No. 25 on children's rights in relation to the digital environment, Pub. L. No. CRC/C/GC/25 (2021).
<https://www.ohchr.org/en/documents/general-comments-and-recommendations/general-comment-no-25-2021-childrens-rights-relation>.

Cornejo-Plaza, María Isabel, Roberto Cippitani, en Vincenzo Pasquino. 'Chilean Supreme Court Ruling on the Protection of Brain Activity: Neurorights, Personal Data Protection, and Neurodata'. *Frontiers in Psychology* 15 (2024): 1330439.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1330439>.

Corrado, Stefano, Beatrice Tosti, Stefania Mancone, Tommaso Di Libero, Angelo Rodio, Alexandro Andrade, en Pierluigi Diotaiuti. 'Improving Mental Skills in Precision Sports by Using Neurofeedback Training: A Narrative Review'. *Sports (Basel, Switzerland)* 12, nr. 3 (29 februari 2024): 70. <https://doi.org/10.3390/sports12030070>.

Douibi, Khalida, Solène Le Bars, Alice Lemontey, Lipsa Nag, Rodrigo Balp, en Gabrièle Breda. 'Toward EEG-Based BCI Applications for Industry 4.0: Challenges and Possible Applications'. *Frontiers in Human Neuroscience* 15 (2021): 705064.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.705064>.

Drew, Liam. 'Abandoned. The Human Cost of Neurotechnology Failure'. *Nature*, 6 december 2022. <https://www.nature.com/immersive/d41586-022-03810-5/index.html>.
EBRAINS. 'EBRAINS: Europe's Research Infrastructure for Brain Research'. EBRAINS, 2023. <https://www.ebrains.eu/>.

Eke, Damian, Eberechi Wogu, eman khalil, Samson Olorunnado, Ronald Kamoga, Olaitan Asuquo, Oumayma Soula, en Barisua Nsaane. 'Responsible Neurotechnology. ANDM's response to UNESCO's Draft Recommendation on the Ethics of Neurotechnology', 5 augustus 2024. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12787890>.

'Electricity 2024 - Analysis and Forecast to 2026', 2024.
EMOTIV. 'About EMOTIV'. [emotiv.com](https://www.emotiv.com), 2025. <https://www.emotiv.com/pages/about>.

Erden, Yasemin J., en Philip Brey. 'Neurotechnology and Ethics Guidelines for Human Enhancement: The Case of the Hippocampal Cognitive Prosthesis'. *Artificial Organs* 47, nr. 8 (augustus 2023): 1235-41. <https://doi.org/10.1111/aor.14615>.

European Centre for Non-Profit Law. 'Packed with Loopholes: Why the AI Act Fails to Protect Civic Space and the Rule of Law', 3 april 2024. <https://ecnl.org/news/packed-loopholes-why-ai-act-fails-protect-civic-space-and-rule-law>.

European Commission. 'Commission Launches Consultation on AI Act Prohibitions and AI System Definition', 13 november 2024. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/commission-launches-consultation-ai-act-prohibitions-and-ai-system-definition>.

European Parliamentary Research Service Scientific Foresight Unit (STOA). *The Protection of Mental Privacy in the Area of Neuroscience: Societal, Legal and Ethical Challenges*. LU: Publications Office of the European Union, 2024. <https://data.europa.eu/doi/10.2861/869928>.

Farah, Martha J., J. Benjamin Hutchinson, Elizabeth A. Phelps, en Anthony D. Wagner. 'Functional MRI-Based Lie Detection: Scientific and Societal Challenges'. *Nature Reviews Neuroscience* 15, nr. 2 (februari 2014): 123-31. <https://doi.org/10.1038/nrn3665>.

Farahany, Nita. *The Battle for Your Brain: Defending the Right to Think Freely in the Age of Neurotechnology*. St. Martin's Press New York, 2023.

Fiani, Brian, Taylor Reardon, Benjamin Ayres, David Cline, en Sarah R. Sitto. 'An Examination of Prospective Uses and Future Directions of Neuralink: The Brain-Machine Interface'. *Cureus* 13, nr. 3 (30 maart 2021): e14192. <https://doi.org/10.7759/cureus.14192>.

Frank, Dennis, Jasmine Mabrey, en Kenji Yoshigoe. 'Personalizable neurological user authentication framework'. In *2017 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)*, 932-36, 2017. <https://doi.org/10.1109/ICCNC.2017.7876258>.

Gamer, Matthias. 'Mind reading using neuroimaging: Is this the future of deception detection?' *European Psychologist* 19, nr. 3 (2014): 172-83. <https://doi.org/10.1027/1016-9040/a000193>.

Ganis, Giorgio. 'Deception detection using neuroimaging'. In *Detecting deception: Current challenges and cognitive approaches*, 105-21. Wiley series in the psychology of crime, policing and law. Wiley-Blackwell, 2015.

Genser, Jared, Stephen Damianos, en Rafael Yuste. 'Safeguarding Brain Data: Assessing the Privacy Practices of Consumer Neurotechnology Companies'. NeuroRights Foundation, 2024.

Genser, Jared, Stephanie Herrmann, en Rafael Yuste. 'International Human Rights Protection Gaps in the Age of Neurotechnology'. NeuroRights Foundation, 2022. <https://www.perseus-strategies.com/wp-content/uploads/2022/08/NeurorightsFoundationPUBLICAnalysis5.6.22.pdf>.

Global Partners Digital. 'GPD response to consultation on the first draft of UNESCO Recommendation on the Ethics of Neurotechnology', juli 2024. <https://www.gp-digital.org/wp-content/uploads/2024/07/GPD-Neurotech-Consultation-Response.pdf>.

Goering, Sara, Eran Klein, Laura Specker Sullivan, Anna Wexler, Blaise Agüera y Arcas, Guoqiang Bi, Jose M. Carmena, e.a. 'Recommendations for Responsible Development and Application of Neurotechnologies'. *Neuroethics* 14, nr. 3 (1 december 2021): 365-86. <https://doi.org/10.1007/s12152-021-09468-6>.

Greenberg, Jeremy, Katelyn Ringrose, Sara Berger, Jamie VanDodick, Francesca Rossi, en Joshua New. 'Privacy and the connected mind. Understanding the data flows and privacy risks of brain-computer interfaces'. The Future of Privacy Forum & IBM, 2021. <https://fpf.org/blog/how-neurotechnology-can-benefit-society-while-leading-with-privacy-and-ethics/>.

Guzmán, Lorena. 'Chile: Pioneering the Protection of Neurorights'. The UNESCO Courier, maart 2022. <https://courier.unesco.org/en/articles/chile-pioneering-protection-neurorights>.

Haas, L. F. 'Hans Berger (1873–1941), Richard Caton (1842–1926), and Electroencephalography'. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry* 74, nr. 1 (1 januari 2003): 9-9. <https://doi.org/10.1136/jnnp.74.1.9>.

Hammond, D. Corydon. 'What Is Neurofeedback: An Update'. *Journal of Neurotherapy* 15, nr. 4 (oktober 2011): 305-36. <https://doi.org/10.1080/10874208.2011.623090>.

Hart, Robert. 'Elon Musk Says Neuralink Could Slash Risk From AI As Firm Prepares For First Human Trials'. Forbes.com, 21 september 2023. <https://www.forbes.com/sites/roberthart/2023/09/21/elon-musk-says-neuralink-could-slash-risk-from-ai-as-firm-prepares-for-first-human-trials/>.

———. 'Experts Criticize Elon Musk's Neuralink Over Transparency After Billionaire Says First Brain Implant Works'. *Forbes*, 26 februari 2024. <https://www.forbes.com/sites/roberthart/2024/02/26/experts-criticize-elon-musks-neuralink-over-transparency-after-billionaire-says-first-brain-implant-works/>.

Harvey, Richard H, Marla K Beauchamp, Marc Saab, en Pierre Beauchamp. 'Biofeedback Reaction-Time Training: Toward Olympic Gold'. *Biofeedback* 39, nr. 1 (1 januari 2011): 7-14. <https://doi.org/10.5298/1081-5937-39.1.03>.

Hasson, Uri, Yuval Nir, Ifat Levy, Galit Fuhrmann, en Rafael Malach. 'Intersubject Synchronization of Cortical Activity During Natural Vision'. *Science* 303, nr. 5664 (12 maart 2004): 1634-40. <https://doi.org/10.1126/science.1089506>.

Human Brain Project. 'Human Brain Project'. Human Brain Project, 2017. <https://www.humanbrainproject.eu/en/>.

Human Rights Council. 'Report of the Special Rapporteur on the Right to Privacy', oktober 2018. <https://documents.un.org/doc/undoc/gen/g18/324/47/pdf/g1832447.pdf>.

Human Rights Council Advisory Committee. 'Impact, opportunities and challenges of neurotechnology with regard to the promotion and protection of all human rights', 8 augustus 2024. <https://documents.un.org/doc/undoc/gen/g24/133/28/pdf/g2413328.pdf>.
Ienca, Marcello. 'Common human rights challenges raised by different applications of neurotechnologies in the biomedical field'. Committee on Bioethics of the Council of Europe, 2021. <https://rm.coe.int/report-final-en/1680a429f3>.

Ienca, Marcello, en Roberto Andorno. 'Towards New Human Rights in the Age of Neuroscience and Neurotechnology'. *Life Sciences, Society and Policy* 13, nr. 1 (december 2017): 5. <https://doi.org/10.1186/s40504-017-0050-1>.

Ienca, Marcello, Pim Haselager, en Ezekiel J. Emanuel. 'Brain Leaks and Consumer Neurotechnology'. *Nature Biotechnology* 36, nr. 9 (oktober 2018): 805-10. <https://doi.org/10.1038/nbt.4240>.

Ienca, Marcello, en Gianclaudio Malgieri. 'Mental data protection and the GDPR'. *Journal of Law and the Biosciences* 9, nr. 1 (1 januari 2022): Isac006. <https://doi.org/10.1093/jlb/Isac006>.

InnerEye. 'Inner Eye | Supercharge Complex', 2025. <https://innereye.ai/>.

International Bioethics Commission. 'Ethical issues of neurotechnology'. UNESCO, 2021. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000383559>.

International Bioethics Committee. 'The ethical issues of neurotechnology'. UNESCO, 2021. https://udelar.edu.uy/internacionales/wp-content/uploads/sites/60/2021/09/Final_Report-of-IBC-on-Neurotechnology_EN.pdf.

Islam, Semra. 'EU AI Act. Article 43: Conformity Assessment'. Securiti. Geraadpleegd 9 december 2024. <https://securiti.ai/eu-ai-act/article-43/>.

Khondakar, Md. Fazlul Karim, Md. Hasib Sarowar, Mehdi Hasan Chowdhury, Sumit

Majumder, Md. Azad Hossain, M. Ali Akber Dewan, en Quazi Delwar Hossain. 'A systematic review on EEG-based neuromarketing: recent trends and analyzing techniques'. *Brain Informatics* 11, nr. 1 (5 juni 2024): 17. <https://doi.org/10.1186/s40708-024-00229-8>.

Koninklijke Nederlandse Lawn Tennisbond tegen Autoriteit Persoonsgegevens, No. Zaak C-621/22 (HvJ EU oktober 2024).

Korteweg, Niki. 'Met een revolutionaire nieuwe behandeling kwam hij van zijn jarenlange dwangneuroses af'. *NRC*, 15 april 2022.

<https://www.nrc.nl/nieuws/2022/04/15/verlost-van-angst-met-stroomstootjes-in-het-brein-a4113831>.

Kröger, Jacob Leon, Otto Hans-Martin Lutz, en Stefan Ullrich. 'The Myth of Individual Control: Mapping the Limitations of Privacy Self-Management'. SSRN Scholarly Paper. Rochester, NY: Social Science Research Network, 7 juli 2021.
<https://doi.org/10.2139/ssrn.3881776>.

Ligthart, Sjors. 'Mental privacy as part of the human right to freedom of thought?' In *The law and ethics of freedom of thought*, onder redactie van M. Blitz en J.C. Bublit, Vol. 2. Palgrave Macmillan, 2024.
https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4464655.

Ligthart, Sjors, Tijs Kooijmans, en Gerben Meynen. 'Neurorechten. Wat doet Nederland ermee?' *Nederlands Juristenblad*, nr. 22 (4 juni 2021).

Livanis, Efstratios, Polychronis Voultsos, Konstantinos Vadikolias, Panagiotis Pantazakos, en Alexandra Tsaroucha. 'Understanding the Ethical Issues of Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Blessing or the Beginning of a Dystopian Future?' *Cureus* 16, nr. 4 (april 2024): e58243. <https://doi.org/10.7759/cureus.58243>.

Loyola, Pablo, Enzo Brunetti, Gustavo Martinez, Juan Velasquez, en Pedro Maldonado. 'Leveraging Neurodata to Support Web User Behavior Analysis', 181-207, 2016.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-44198-6_8.

Martinovic, Ivan, Doug Davies, Mario Frank, Daniele Perito, Tomas Ros, en Dawn Song. 'On the Feasibility of {Side-Channel} Attacks with {Brain-Computer} Interfaces', 143-58, 2012. <https://www.usenix.org/conference/usenixsecurity12/technical-sessions/presentation/martinovic>.

Mehrotra, Dhruv. 'The Gruesome Story of How Neuralink's Monkeys Actually Died'. *Wired*, 20 september 2023. <https://www.wired.com/story/elon-musk-pcrm-neuralink-monkey-deaths/>.

META. 'Fb.Com'. *Introducing Orion, Our First True Augmented Reality Glasses* (blog), 25 september 2024. <https://about.fb.com/news/2024/09/introducing-orion-our-first-true-augmented-reality-glasses/>.

MindRDR. 'MindRDR', 2025. <https://mindrdr.thisplace.com/static/index.html>.
Muñoz, José M., en Diego Borbón. 'Equal Access to Mental Augmentation: Should It Be a Fundamental Right?' *Brain Stimulation: Basic, Translational, and Clinical Research in*

Neuromodulation 16, nr. 4 (1 juli 2023): 1094-96.
<https://doi.org/10.1016/j.brs.2023.05.003>.

Muse. 'Muse™ EEG-Powered Meditation & Sleep Headband'. Muse, 2024.
<https://choosemuse.com/>, <https://choosemuse.com/>.

Nahas, Kamal. 'AI Re-Creates What People See by Reading Their Brain Scans', 7 maart 2023. <https://www.science.org/content/article/ai-re-creates-what-people-see-reading-their-brain-scans>.

National Institutes of Health: The BRAIN Initiative. 'The Brain Research Through Advancing Innovative Neurotechnologies® (BRAIN) Initiative', 2025 2013.
<https://braininitiative.nih.gov/>.

Neuralink. 'Neuralink — Pioneering Brain Computer Interfaces', 2025.
<https://neuralink.com/>.

Neurensics. 'Campagne Pretest in het Brein | Reclame onderzoek | Verhoog ROI met fMRI'. Neurensics.com, 2022. <https://www.neurensics.com/expertises/pre-testing>.

Neurosky. 'Neurosky.Com'. NeuroSky, 2025. <https://neurosky.com/>.

———. 'Store.Neurosky.Com/Products/Mindflex', 2025.
<https://store.neurosky.com/products/mindflex>.

Normile, Dennis. 'China Bets Big on Brain Research with Massive Cash Infusion and Openness to Monkey Studies'. *Science*, 2022.

<https://www.science.org/content/article/china-bets-big-brain-research-massive-cash-infusion-and-openness-monkey-studies>.

Obidin, Nikita, Farita Tasnim, en Canan Dagdeviren. 'The Future of Neuroimplantable Devices: A Materials Science and Regulatory Perspective'. *Advanced Materials* 32, nr. 15 (april 2020): 1901482. <https://doi.org/10.1002/adma.201901482>.

Pauwels, Eleonore. 'Neurotechnology and Children'. UNICEF Innocenti Global Office of Research and Foresight, 18 juni 2024.

<https://www.unicef.org/innocenti/reports/neurotechnology-and-children>.

Peksa, Janis, en Dmytro Mamchur. 'State-of-the-Art on Brain-Computer Interface Technology'. *Sensors (Basel, Switzerland)* 23, nr. 13 (28 juni 2023): 6001.
<https://doi.org/10.3390/s23136001>.

Pham, Uyen, Anne-Kristin Solbakk, Inger-Marie Skogseid, Mathias Toft, Are Hugo Pripp, Ane Eidahl Konglund, Stein Andersson, e.a. 'Personality Changes after Deep Brain Stimulation in Parkinson's Disease'. *Parkinson's Disease* 2015, nr. 1 (2015): 490507. <https://doi.org/10.1155/2015/490507>.

Portillo-Lara, Roberto, Bogachan Tahirbegi, Christopher A. R. Chapman, Josef A. Goding, en Rylie A. Green. 'Mind the Gap: State-of-the-Art Technologies and Applications for EEG-Based Brain-Computer Interfaces'. *APL Bioengineering* 5, nr. 3 (september 2021): 031507. <https://doi.org/10.1063/5.0047237>.

Precedence Research. 'Neurotechnology Market Size To Hit USD 38.17 Bn By 2032', december 2022. <https://www.precedenceresearch.com/neurotechnology-market>.

Pullen Guercio, Sara. 'Making (Brain) Waves: New Colorado Legislation Poised to Protect Privacy of Neural Data'. *JD Supra* (blog), 22 januari 2024. <https://www.jdsupra.com/legalnews/making-brain-waves-new-colorado-6837240/>.

Rainey, Stephen, Kevin McGillivray, Simi Akintoye, Tyr Fothergill, Christoph Bublitz, en Bernd Stahl. 'Is the European Data Protection Regulation sufficient to deal with emerging data concerns relating to neurotechnology?' *Journal of Law and the Biosciences* 7, nr. 1 (25 juli 2020): Isaa051. <https://doi.org/10.1093/jlb/Isaa051>.

Ramsey, Nick F. 'Chapter 1 - Human brain function and brain-computer interfaces'. In *Handbook of Clinical Neurology*, onder redactie van Nick F. Ramsey en José del R. Millán, 168:1-13. Brain-Computer Interfaces. Elsevier, 2020. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63934-9.00001-9>.

Rathenau Instituut. 'Rathenau Scan: Generatieve AI', 2023. <https://www.rathenau.nl/nl/digitalisering/generatieve-ai>.

Rathenau Scan: Immersieve Technologieën'. Den Haag: Rathenau Instituut, 2023. <https://www.rathenau.nl/sites/default/files/2023-10/Rathenau%20Instituut%20I%20Scan%20I%20Immersieve%20technologieen.pdf>.

Rathenau Instituut = werken aan de robotsamenleving'. Den Haag, 2015. https://www.rathenau.nl/sites/default/files/Werken_aan_de_robotsamenleving_-_Rathenau_Instituut.pdf.

Rawnaque, Ferdousi Sabera, Khandoker Mahmudur Rahman, Syed Ferhat Anwar, Ravi Vaidyanathan, Tom Chau, Farhana Sarker, en Khondaker Abdullah Al Mamun. 'Technological Advancements and Opportunities in Neuromarketing: A Systematic Review'. *Brain Informatics* 7, nr. 1 (21 september 2020): 10. <https://doi.org/10.1186/s40708-020-00109-x>.

Research and Markets. 'Neurotechnology Research Report 2024: Market Set to Surge, North America Leads Growth Trajectory - Long-Term Forecast to 2028 and 2033', 30 januari 2024. <https://finance.yahoo.com/news/neurotechnology-research-report-2024-market-154900876.html/>.

Rommelfanger, Karen S. 'Humanistic neurotechnology. A new opportunity for Spain'. Digital Future Society, 2024.
<https://digitalfuturesociety.com/app/uploads/2024/01/Humanistic-neurotechnology-1.pdf>.

Rydzik, Łukasz, Wojciech Wąsacz, Tadeusz Ambroży, Norollah Javdaneh, Karolina Brydak, en Marta Kopańska. 'The Use of Neurofeedback in Sports Training: Systematic Review'. *Brain Sciences* 13, nr. 4 (14 april 2023): 660.
<https://doi.org/10.3390/brainsci13040660>.

Saha, Simanto, Khondaker A. Mamun, Khawza Ahmed, Raqibul Mostafa, Ganesh R. Naik, Sam Darvishi, Ahsan H. Khandoker, en Mathias Baumert. 'Progress in Brain Computer Interface: Challenges and Opportunities'. *Frontiers in Systems Neuroscience* 15 (25 februari 2021). <https://doi.org/10.3389/fnsys.2021.578875>.

Santiago, Nicole, Ben Howkins, Julie Vinders, Rowena Rodrigues, Zuzanna Warso, Michael Bernstein, Gustavo Gonzalez, en Andrea Porcari. 'D4.1. Analysis of International and EU Law and Policy for the Governance of Climate Engineering, Neurotechnologies, and Digital Extended Reality'. TechEthos, 6 juli 2022.
<https://zenodo.org/records/7650731>.

Schalk, Gerwin, Peter Brunner, Brendan Z. Allison, Surjo R. Soekadar, Cuntai Guan, Tim Denison, Jörn Rickert, en Kai J. Miller. 'Translation of Neurotechnologies'. *Nature Reviews Bioengineering*, 31 mei 2024, 1-16. <https://doi.org/10.1038/s44222-024-00185-2>.

Silva, Nuno Sousa e. 'The Artificial Intelligence Act: critical overview'. arXiv, 30 augustus 2024. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2409.00264>.

Stein, Scott. 'I Wore Meta's Orion AR Glasses: A Wireless Taste of a Neural Future'. CNET, 25 september 2024. <https://www.cnet.com/tech/computing/i-wore-metas-orion-ar-glasses-a-wireless-taste-of-a-neural-future/>.

Steindl, Elisabeth. 'Consumer Neuro Devices within EU Product Safety Law: Are We Prepared for Big Tech Ante Portas?' *Computer Law & Security Review* 52 (april 2024): 105945. <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2024.105945>.

Sun, Jing, Ruofan Yang, Qingsong Li, Runtao Zhu, Ying Jiang, Lei Zang, Zhibo Zhang, e.a. 'Living Synthelectronics: A New Era for Bioelectronics Powered by Synthetic Biology'. *Advanced Materials* 36, nr. 25 (2024): 2400110.
<https://doi.org/10.1002/adma.202400110>.

Taya, Fumihiko, Yu Sun, Fabio Babiloni, Nitish Thakor, en Anastasios Bezerianos. 'Brain Enhancement through Cognitive Training: A New Insight from Brain Connectome'. *Frontiers in Systems Neuroscience* 9 (1 april 2015).
<https://doi.org/10.3389/fnsys.2015.00044>.

The Neurorights Foundation. 'The Neurorights Foundation'. Geraadpleegd 6 december 2024. <https://neurorightsfoundation.org>.

The Regulatory Horizons Council. 'Neurotechnology regulation', 2022. <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/63e9e8f88fa8f5050ee37d10/rhc-neurotechnology-regulation.pdf#page=56>.

Tortora, L, G Meynen, J Bijlsma, E Tronci, en S Ferracuti. 'Neuroprediction and A.I. in Forensic Psychiatry and Criminal Justice: A Neurolaw Perspective'. *Frontiers in Psychology* 11 (17 maart 2020). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00220>.

UNESCO. First draft the Recommendation on the Ethics of Neurotechnology, Pub. L. No. SHS/BIO/AHEG-Neuro/2024/1 Rev. (2024).

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000391444>.

Unravel. 'unravelresearch.com'. Unravel Neuromarketing Research, 2025.

<https://www.unravelresearch.com/>.

Van Beers, Britta. 'Menselijke waardigheid in tijden van big data en Big Tech'. In *De Grondwet en nieuwe technologie. Klaar voor de toekomst? Twaalf pleidooien voor modernisering van de grondwet.*, 11-38. Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2024. <https://open.overheid.nl/documenten/9172451e-8e06-43a7-aed5-12f9a5233c3f/file>.

Varkevisser, Tim. 'Digging for Fool's Gold: Functional MRI of the Amygdala in (Post-)Active Military Personnel with Impulsive Aggression Problems'. Dissertation. Utrecht University, 27 september 2024. <https://doi.org/10.33540/2463>.

Vemou, Konstantina, Anna Horvath, en Thomas Zerdick. 'Techdispatch. Facial emotion recognition'. European Data Protection Supervisor, 2021.

https://www.edps.europa.eu/system/files/2021-05/21-05-26_techdispatch-facial-emotion-recognition_ref_en.pdf.

Vinders, Julie, Ben Howkins, Nicole Santiago, Iva-Nicole Mavrija, Rowena Rodrigues, Wenzel Mehnert, Domenico Piero Muscillo, e.a. 'Comparative analysis of national legal case studies. On the emerging technologies of climate engineering, neurotechnologies and digital extended reality'. TechEthos, 30 december 2022.

https://www.techethos.eu/wp-content/uploads/2023/02/TechEthos-D4.2-Comparative-Analysis-of-National-Legal-Case-Studies_watermarked.pdf.

Wang, Ran, en Zhe Sage Chen. 'Large-scale foundation models and generative AI for BigData neuroscience'. *Neuroscience Research*, 17 juni 2024.

<https://doi.org/10.1016/j.neures.2024.06.003>.

Wenco. 'Wencomine.Com/Our-Solutions/Safety', 2025.
<https://www.wencomine.com/our-solutions/safety>.

Wieringa, Rein. 'Primeur voor Musk: zijn bedrijf plaatst hersenchip in mens, maar heeft nog grotere ambities'. NRC, 30 januari 2024.
<https://www.nrc.nl/nieuws/2024/01/30/primeur-voor-musk-zijn-bedrijf-plaatst-hersenchip-in-mens-maar-heeft-nog-grotere-ambities-a4188524>.

Wiersma, Merel. 'Computer leert gedachtenlezen: denk "a" of "u" en hij weet dat'. NRC, 21 januari 2022. <https://www.nrc.nl/nieuws/2022/01/21/computer-leert-gedachtenlezen-denk-a-of-u-en-hij-weet-dat-a4081316>.

Wolpaw, Jonathan, Millán, en Ramsey. 'Brain-Computer Interfaces: Definitions and Principles'. *Handbook of Clinical Neurology* 168 (2020). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63934-9.00002-0>.

Wu, Dongrui, Yifan Xu, en Bao-Liang Lu. 'Transfer Learning for EEG-Based Brain–Computer Interfaces: A Review of Progress Made Since 2016'. *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems* 14, nr. 1 (maart 2022): 4-19.
<https://doi.org/10.1109/TCDS.2020.3007453>.

Yuste, Rafael, Jared Genser, en Stephanie Herrmann. 'It's Time for Neuro-Rights', 2021.

Yuste, Rafael, Sara Goering, Blaise Agüera y Arcas, Guoqiang Bi, Jose M. Carmena, Adrian Carter, Joseph J. Fins, e.a. 'Four Ethical Priorities for Neurotechnologies and AI'. *Nature* 551, nr. 7679 (november 2017): 159-63. <https://doi.org/10.1038/551159a>.

Zander Labs. 'zanderlabs.com/'. Zander Labs, 2025. <https://www.zanderlabs.com/>.

Geraadpleegde experts en beleidsmakers

Expert vragenlijst

- Odile van Stuijvenberg, UMC Utrecht
- Karin Jongsma, UMC Utrecht
- Gerben Meynen, VU Amsterdam en Universiteit Utrecht
- Katherine Bassil, UMC Utrecht
- Richard van Wezel, Radboud Universiteit
- Maarten Boksem, Erasmus Universiteit Rotterdam
- Mariska van Steensel, UMC Utrecht
- Bouke van Balen, UMC Utrecht, TU Eindhoven en TU Delft
- Ronald Siecker, Cheprion BV
- Sjors Ligthart, Tilburg University
- Patrick van Deursen, Imec
- Timo Istace, Universiteit Antwerpen
- Naomi van de Pol, Universiteit Utrecht
- Erik Aarnoutse, UMC Utrecht
- Simon Geukes, UMC Utrecht en Hersencentrum
- Bart Krekelberg, Rutgers University
- Mathijs Raemaekers, UMC Utrecht
- Roshan Cools, Donders Institute for Brain, Cognition and Behaviour en Radboudumc
- Pim Haselager, Donders Institute for Brain, Cognition, and Behaviour en Radboud University

Deelnemers expertsessie 30 september 2024

- Britta van Beers, VU Amsterdam
- Sjors Ligthart, Universiteit Utrecht en Tilburg University
- Erik Aarnoutse, UMC Utrecht
- Mathijs Raemaekers, UMC Utrecht
- Bouke van Balen, TU Eindhoven, UMC Utrecht en TU Delft
- Odile van Stuijvenberg, UMC Utrecht
- Maarten Boksem, Erasmus Centre for Neuroeconomics
- Timo Istace, Universiteit Antwerpen
- Roshan Cools, Donders Institute for Brain, Cognition and Behaviour & Radboudumc
- Richard van Wezel, Donders Institute for Brain, Cognition and Behaviour en Radboud University

Beleidsmakers vragenlijst

- Beleidsmakers van de volgende ministeries (+ directie of afdeling indien bekend) hebben de vragenlijst voor beleidsmakers ingevuld:
- Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (BZK) – Publieke waarden & Nieuwe technologie
- Ministerie van BZK – Constitutionele zaken (3x)

- Ministerie van BZK – Digitale Samenleving
- Ministerie van Defensie – Commando materieel en IT, afdeling DATA en afdeling Kennis en Innovatie.
- Ministerie van Economische Zaken (EZ) (3x)
- Ministerie van EZ – Topsectoren & Industriebeleid
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (I en W)
- Ministerie van Justitie en Veiligheid (J en V) – Directie Rechtsbescherming, Beleidsteam Privacy
- Ministerie van Justitie en Veiligheid
- Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap (OCW) – directie Kennis
- Ministerie van Sociale Zaken (SZ)– Directie Arbeidsmarkt en Sociaaleconomische aangelegenheden
- Ministerie van Volksgezondheid Welzijn en Sport (VWS) – directie Geneesmiddelen en Medische Technologie
- Ministerie van VWS

Auteurs

Sophie van Baalen, Rosanne Edelenbosch, Luuk Ex, Bo Hijstek, Freek van der Weij

Illustraties en foto's

Afdeling Communicatie

Foto omslag

Shutterstock, DC Studio

Bij voorkeur citeren als:

Rathenau Instituut (2025). Neurotechnologie. Den Haag. (Auteurs: Van Baalen, S. R. Edelenbosch, L. Ex, B. Hijstek en F. Van der Weij)

© Rathenau Instituut 2025

Verveelvoudigen en/of openbaarmaking van (delen van) dit werk voor creatieve, persoonlijke of educatieve doeleinden is toegestaan, mits kopieën niet gemaakt of gebruikt worden voor commerciële doeleinden en onder voorwaarde dat de kopieën de volledige bovenstaande referentie bevatten. In alle andere gevallen mag niets uit deze uitgave worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie of op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming.

Open Access

Het Rathenau Instituut heeft een Open Access beleid. Rapporten, achtergrondstudies, wetenschappelijke artikelen, software worden vrij beschikbaar gepubliceerd. Onderzoeksgegevens komen beschikbaar met inachtneming van wettelijke bepalingen en ethische normen voor onderzoek over rechten van derden, privacy, en auteursrecht.

Contactgegevens

Anna van Saksenlaan 51
Postbus 95366
2509 CJ Den Haag
070-342 15 42
info@rathenau.nl
www.rathenau.nl

Het Rathenau Instituut stimuleert de publieke en politieke meningsvorming over de maatschappelijke aspecten van wetenschap en technologie. We doen onderzoek en organiseren het debat over wetenschap, innovatie en nieuwe technologieën.

Rathenau Instituut