

FORESIGHT BRIEF

04/2025 EXECUTIVE SUMMARY

RE-ENGINEERING HUMAN NATURE

EMPFEHLUNGEN FÜR DIE VERANTWORTUNGSVOLLE ENTWICKLUNG VON NEUROTECHNOLOGIEN: EINE ÖSTERREICHISCHE PERSPEKTIVE



EXECUTIVE SUMMARY

Neurotechnologien eröffnen eine Vielzahl an Möglichkeiten für den medizinischen Bereich. Sie helfen Patient:innen bereits heute bei der Behandlung von Parkinson und Schlaganfällen, der Rehabilitation von neurologischen Erkrankungen, der Wiederherstellung von Hör- und Sehfunktionen und weiteren. Medizintechnologische Innovationen wie Gehirn-Computer-Schnittstellen, Neurostimulation oder digitale Gehirnzwillinge verbessern das Leben von Menschen weltweit.

Zunehmend wandern diese Technologien auch in den Konsumentenbereich und bieten Anwendungen wie tragbare EEG-Headsets zum Gaming oder als Konzentrationstraining, Neurostimulation als Wellness-Angebote oder Wearables zur Selbstoptimierung. In den letzten

Jahren ist der Marktanteil von Neurotechnologien für den nicht-medizinischen Anwendermarkt auf 60% gestiegen (Timón & Mahieu, 2025) und Marktanalysten prophezeien einen Anstieg von 17 Mrd. auf 52 Mrd. USD in den nächsten zehn Jahren (Precedence Research, 2025). In Anbetracht dieser neuen Marktorientierung, von medizinischen Anwendungen hin zu nicht-medizinischen Anwendungen, stellen sich neben den neuen Chancen und Möglichkeiten auch Fragen nach Sicherheit, Regulierung und gesellschaftlichen Folgen bei der Entwicklung von Neurotechnologien:

Muss das Recht auf Privatsphäre neu überdacht werden? Braucht es einen neuen Regulierungsrahmen für den Schutz neuronaler Daten? Laufen wir Gefahr, die Gesellschaft durch diese Technologie zu spalten? Oder birgt diese Technologie sogar das Ende kognitiver Freiheit und

AUTOR:INNEN

Wenzel Mehnert (wenzel.mehnert@ait.ac.at) | Alexandra Csabi (alexandra.csabi@ait.ac.at)
AIT Center for Innovation Systems & Policy

FORESIGHT BRIEF

04/2025 EXECUTIVE SUMMARY

Autonomie? Solche und ähnliche Fragen werden auf der politischen Bühne international diskutiert und sollten auch in Österreich in einem geeigneten Rahmen diskutiert werden.

ÖSTERREICHS STÄRKE IM NEURO- TECH-ÖKOSYSTEM: VON MED-TECH-INNOVATION BIS GESELLSCHAFTLICHEM DIALOG

Diese Fragen spielen gerade in Österreich eine wichtige Rolle. Etablierte KMUs, wie **G.tec Medical Engineering**, zählen zu den international führenden Entwicklern in der Branche und junge Start-Ups, wie **Brightmind.AI** oder **Syntropic Medical**, versprechen Durchbrüche im Med-Tech Bereich; klinische Einrichtungen wie das **Kepler Uniklinikum** oder Forschungsgruppen an den

Universitäten Wien und Graz, bringen die Grundlagenforschung international und interdisziplinär mit voran; Vermittlungsplattformen wie das **Ars Electronica Neuro-Experience Lab** sowie partizipative Dialogformate, die am **Austrian Institute of Technology** entwickelt wurden, tragen bereits jetzt zum breiten Diskurs über diese Technologien bei. Diese Kombination aus technologischer Exzellenz, klinischer Anwendung und gesellschaftlicher Kommunikation verschafft Österreich eine gute Basis, um im Europäischen Kontext eine aktive Rolle für die verantwortungsvolle Gestaltung von Neurotechnologien einzunehmen.

Mehr dazu lesen Sie nachfolgend in der Vollversion des Foresight Briefs.



Hier finden Sie alle weiteren
Foresight Briefs der Reihe
Transformation Pathways and
Strategies

AUF EINEN BLICK

- **Chancen:** Behandlung neurologischer Erkrankungen, Verbesserung der Lebensqualität, neue Wirtschafts- und Forschungsfelder, neue Märkte. Neue Anwendungen zur Optimierung von kognitiven Leistungen
- **Risiken:** Ethische Herausforderungen, unklare Definition von Umgang mit neuronalen Daten, rechtliche Graubereiche bei nicht-medizinischen Anwendungen, gesteigerte Abhängigkeit von Technologieunternehmen, Gefahr übersteigerter Erwartungen & Hypes (Neuromythen).
- **Österreichischer Beitrag:** Anwendungsentwicklung mit großem Potenzial, Grundlagenforschung bereits gut aufgestellt, existierende etablierte und explorative Dialogformate.
- **Empfehlung:** Österreich sollte eine vorausschauende Neurotechnologie-Strategie entwickeln, die Regulierung, Entwicklung & Forschung und gesellschaftlichen Dialog verbindet.

AUTOR:INNEN

Wenzel Mehnert (wenzel.mehnert@ait.ac.at) | Alexandra Csabi (alexandra.csabi@ait.ac.at)
AIT Center for Innovation Systems & Policy

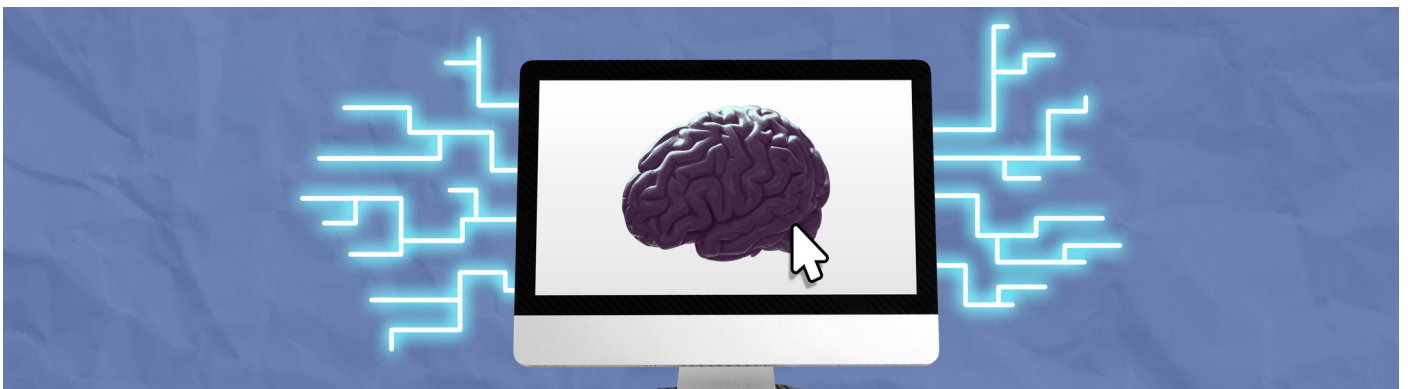
Transformation Pathways & Strategies

FORESIGHT BRIEF

04/2025

RE-ENGINEERING HUMAN NATURE

EMPFEHLUNGEN FÜR DIE VERANTWORTUNGSVOLLE ENTWICKLUNG VON NEUROTECHNOLOGIEN:
EINE ÖSTERREICHISCHE PERSPEKTIVE



Seit dem späten 20. Jahrhundert haben die medizinisch-technologischen Entwicklungen am und mit dem menschlichen Gehirn (Neurotechnologien) deutlich zugenommen. Allein der European Research Council (ERC) hat seit seiner Gründung (2007) über 200 neurowissenschaftliche Projekte mit insgesamt mehr als 250 Millionen Euro gefördert (European Research Council, 2013). So entwickeln sich aus der Biotechnologie, der Medizintechnik und der Konvergenz mit künstlicher Intelligenz neue Anwendungen für die Verbindung von Gehirn und Computer, die nicht nur Krankheiten behandeln, sondern, mit Blick auf den nicht-medizinischen Bereich, auch die Fähigkeiten gesunder Menschen verbessern sollen. Die Entwicklungen im Bereich der Neurotechnologien schaffen damit neue Chancen, stellen unsere Gesellschaft aber auch vor neue Herausforderungen.

Im medizinischen Bereich ist das Ziel von Neurotechnologien, Menschen mit Beeinträchtigungen oder Behinderungen dabei zu helfen, ihre verlorenen Fähigkeiten wieder herzustellen. Eine der bekanntesten Anwendungen liegt in der Rehabilitation von Patient:innen mit schweren körperlichen Einschränkungen. So können

Menschen mit Ganzkörperlähmungen mit Gehirn-Computer-Schnittstellen externe Geräte wie Computercursor oder Roboterarme kontrollieren, Parkinson- oder Schlaganfallpatient:innen können mit gezielten

AUTOR:INNEN

Wenzel Mehnert (wenzel.mehnert@ait.ac.at) | Alexandra Csabi (alexandra.csabi@ait.ac.at)

WAS SIND NEUROTECHNOLOGIEN?

Gehirn-Computer-Schnittstellen (Brain-Computer Interfaces BCIs): Geräte, die neuronale Aktivität messen und in Steuerbefehle übersetzen, etwa zur Bedienung von Computern oder Prothesen.

Neurostimulation: Verfahren wie transkranielle Magnetstimulation (TMS), transkranielle Gleichstromstimulation (tDCS) oder Tiefenhirnstimulation (DBS), die elektrische oder magnetische Impulse nutzen, um gezielt Bereiche im Gehirn zu stimulieren, z.B. um epileptische Anfälle zu verhindern.

Sensorische Prothesen: Technologien wie Cochlea- oder Netzhautimplantate zur Wiederherstellung von Hör- oder Sehfunktionen.

Digitale Gehirnzwillinge: Computermodelle, die auf Basis medizinischer Daten individuelle Gehirnaktivitäten simulieren.

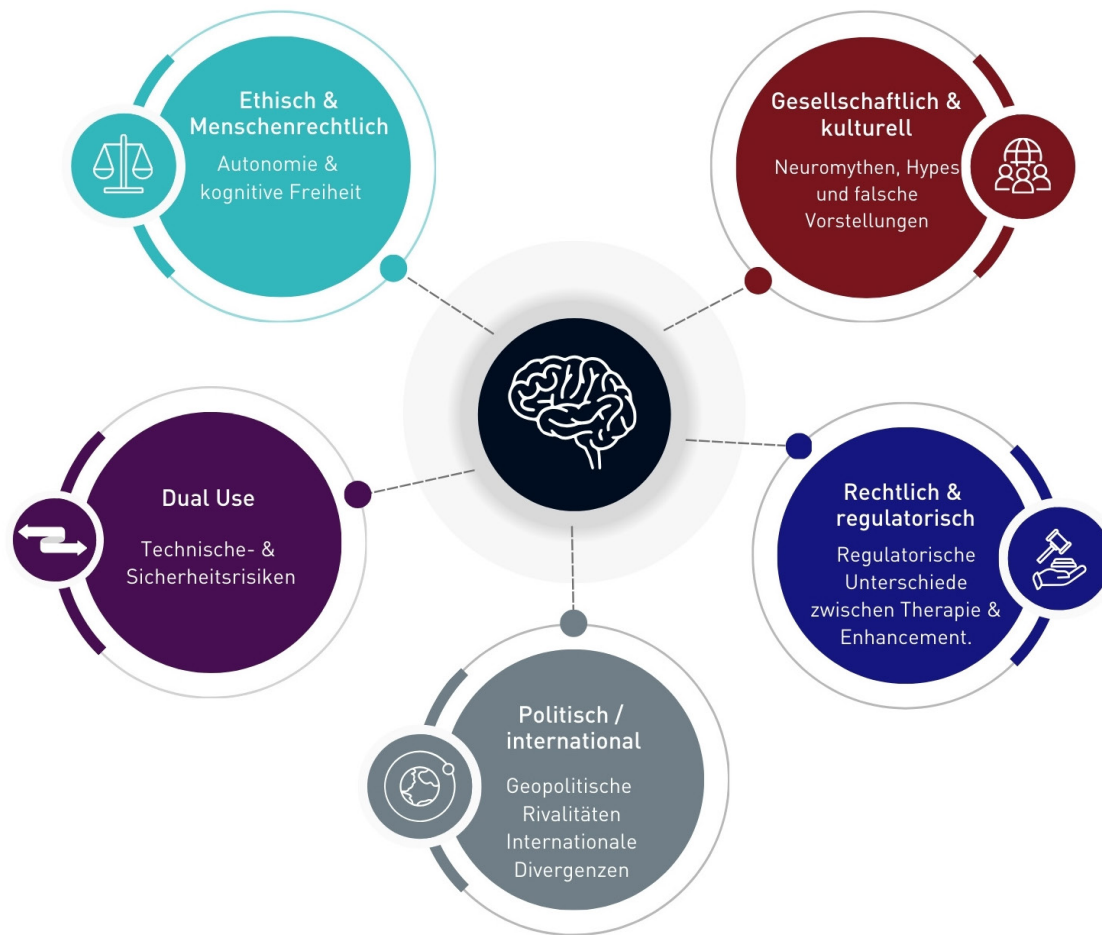
Diese Anwendungen eröffnen erhebliche Chancen für die Medizin, werfen jedoch auch Fragen nach der ethischen Einordnung von kognitiver und körperlicher Optimierung, Überwachung, Datenhoheit und kultureller Akzeptanz auf.

Neurostimulationen behandelt werden (Dubiel, 2006) und unterschiedliche Implantate können den Hör- und Sehnerv von beeinträchtigten Personen verbessern (für eine Übersicht über die medizinischen Anwendungen siehe Kehl & Hommrich, 2025).

Während die Technologie Patient:innen erfolgreich zu einem besseren Leben verhilft, verspricht sie im nicht-medizinischen Bereich gesunden Menschen zu gesteigerten kognitiven und körperlichen Leistungen zu verhelfen (Maier et al., 2024). Hierzu gehören sowohl invasive Computerchips, die von Unternehmen wie Neuralink oder Synchron entwickelt und oft medial gehyped werden (Mullin, 2023), als auch nicht-invasive Geräte, wie EEG Stirnbänder oder Neurostimulatoren.

Für die Zukunft werfen gerade die nicht-medizinischen Anwendungen eine Vielzahl kritischer Fragen auf, zumal sie vielfach keinen Regulierungen oder ethischen Regeln unterworfen sind – im Gegensatz zum therapeutisch-medizinischen Bereich. Es stellen sich Fragen zu Schutzlücken, zur Einordnung der erhobenen Daten, zu Eigentumsrechten, zu Möglichkeiten der Überwachung, der kommerziellen Manipulation oder der politischen Einflussnahme, sowie Fragen nach Gleichberechtigung, Inklusion und Zugang zu diesen Technologien. Die komplexe Thematik und die vielseitigen Möglichkeiten zur Zukunftsgestaltung unterstreichen die Notwendigkeit eines gesellschaftlichen Diskurses auf breiter Basis.

AKTUELLE HERAUSFORDERUNGEN



Die Entwicklung von Neurotechnologien eröffnet große Chancen, bringt jedoch zugleich ein komplexes Geflecht an Herausforderungen mit sich. Sie reichen von menschenrechtlichen Fragen wie der Gedankenfreiheit und dem Recht auf Achtung des Privat- und Familienlebens, ethischen Fragen nach Integrität Autonomie und Identität über rechtliche Unsicherheiten in der Regulierung bis hin zu gesellschaftlichen Spannungen, die durch mediale Hypes, überschätzte Erwartungen und mangelnde, gesellschaftliche Teilhabe geprägt sind. Zudem stellen sich Fragen im Bereich der Nutzung von Neurotechnologien im militärischen und Sicherheitsbereich, z.B. in der Strafverfolgung. Schließlich verlagern sich viele Debatten zunehmend in den internationalen Raum, wo unterschiedliche regulatorische Ansätze und geopolitische Interessen aufeinandertreffen. In dieser Gemengelage zeigt sich, dass Neurotechnologien nicht nur technische Innovationen sind, sondern tiefgreifende gesellschaftliche, kulturelle und politische Aushandlungsprozesse erfordern. Das folgende Kapitel soll einen Überblick über die gegenwärtigen Herausforderungen geben.

1. ETHISCHE HERAUSFORDERUNGEN

Neurotechnologien greifen in besonders sensible Bereiche menschlichen Lebens ein, da sie direkten Zugang zu Gedanken, Emotionen und kognitiven Prozessen eröffnen (Farah, 2012). Die Fähigkeit, Gehirnfunktionen zu beobachten und zu verändern, wirft tiefgreifende Fragen zu Gedankenfreiheit, Privatsphäre und dem sicheren Umgang mit neuronalen Daten auf. Gleichzeitig verschiebt sich unser Verständnis von Selbstbestimmung und Autonomie: Wie frei bleiben Entscheidungen, wenn externe Systeme sie beeinflussen können (Bublitz, 2014)? Hieran schließen sich Diskussionen über die Notwendigkeit eines Menschenrechts auf mentale Selbstbestimmung an. Der menschliche Geist gilt als Kern des Menschseins, ist jedoch wissenschaftlich nur begrenzt verstanden und damit schwer zu definieren. Für den juristischen Diskurs wird er pragmatisch als Gesamtheit bewusster und unbewusster Zustände, Gedanken, Gefühle und zugrunde liegender Mechanismen gefasst und damit als schützenswertes Gut betrachtet (Bublitz, 2020).

| DIMENSION | RISIKEN & PROBLEMFELDER |
|--|---|
| Ethisch & Menschenrechtlich Autonomie & kognitive Freiheit | Schutz von Privatsphäre & Umgang mit Neurodaten Risiken durch Überwachung, Manipulation, Verlust von Selbstbestimmung, Implantate ohne Support nach Firmenpleiten (z. B. Second Sight) |
| Gesellschaftlich / kulturell Neuromythen, Hypes und falsche Vorstellungen | Neuro-Hype, Mythenbildung & Inklusion Menschen mit Beeinträchtigungen oft nur passive Empfänger statt Mitgestalter; Technologische Komplexität vs. „Neuro-Hype“ führt zu Überschätzung von Risiken oder Chancen |
| Rechtlich & regulatorisch Regulatorische Unterschiede zwischen Therapie & Enhancement. | Regulierungslücken v. a. bei nicht-medizinischen Anwendungen Diskussion über Erweiterung und Anpassung bestehender Rechtsrahmen Schwierige Klassifikation und rechtliche Zuordnung |
| Politisch / international Geopolitische Rivalitäten Internationale Divergenzen | Globale Governance Unterschiedliche Ansätze von EU, USA, China erschweren Standards EU: wertebasiert; USA: profitorientiert; China: Technologieführerschaft |
| Dual Use Technische- & Sicherheitsrisiken | Zivile und militärische Nutzung Störanfälligkeit, Manipulation und Kontrollverlust durch Gehirn-Computer-Schnittstellen und KI-Systeme. Erfordert globale Zusammenarbeit und klare Zuständigkeiten. |

Neben diesen rechtlichen und ethischen Fragestellungen geht es auch um handfeste Herausforderungen: Neuroprothesen verändern das Verhältnis von Menschen zu Maschinen und erzeugen für die Patient:innen und Nutzer:innen neue Abhängigkeiten von Maschinen und letztlich auch von den Unternehmen, die dahinter stehen. Das kann dazu führen, dass Patienten nach Abschluss von experimentellen Studien und Erhebung von wissenschaftlichen Daten mit implantierten Geräten zurückbleiben, ohne dass ein klarer Plan für die Nachsorge vorliegt (Drew, 2022). Ein Beispiel ist das Unternehmen Second Sight, das 2019 die Produktion seines Netzhautimplantats Argus II einstellte. Dadurch wurde der Support zunehmend schwieriger: Ersatzteile wurden begrenzt, Software-Updates eingestellt und technische Fragen blieben unbeantwortet. Manche Nutzer:innen beschrieben, dass ihr Implantat plötzlich versagte und keine Ersatzmöglichkeiten mehr vorhanden waren (Strickland & Harris, 2022). Der Fall zeigt exemplarisch, welche Fragen sich bei implantierbaren Neurotechnologien stellen: Wer trägt langfristig Verantwortung für ein implantiertes Gerät, insbesondere wenn der Hersteller Support einstellt? Wie sollen Nutzer*innen informiert werden über Risiken eines frühen Verfalls oder Auslaufens des Produkts? Welche regulatorischen Anforderungen müssen gelten, damit nicht nur die Zulassung, sondern auch der lebenslange Support gewährleistet wird? Wie lässt sich eine technologische Innovation so gestalten, dass die nachhaltige Unterstützung gewährleistet wird?

In diesem Spannungsfeld wird deutlich, dass Neurotechnologien nicht nur technologische Innovationen sind, sondern gesellschaftliche und kulturelle Ordnungen neu verhandeln und somit auch ein Bedarf an klarer Regulierung für den nicht-medizinischen Bereich besteht (Yuste et al., 2017). Die ethische Dimension wird zum Kern der Debatte um die Entwicklung, Anwendung und Regulierung von Neurotechnologien im medizinischen aber vor allem im nicht-medizinischen Bereich und dreht sich um den Umgang mit Prothesen als auch um die Frage, ob das derzeitige Datenschutzrecht Neurodaten umfasst oder ob es Regelungslücken gibt (Ienca et al., 2022).

2. GESELLSCHAFTLICHE UND KULTURELLE HERAUSFORDERUNGEN

Die Einführung von Neurotechnologien wird nicht nur durch technische Machbarkeit bestimmt, sondern auch durch gesellschaftliche Wahrnehmungen, kulturelle Deutungen und soziale Praktiken. Darunter leidet unter anderem das Vertrauen in die Technologien und in deren Entwickler:innen.

Ein zentrales Problem ist der anhaltende Hype um Neurotechnologien, die überzogene Versprechen von kognitiver Verbesserung oder transhumanistischer Verschmelzung von Mensch und Maschine erzeugen, also so genannte Neuroenchantments oder Neuromythen (Ali et al., 2014; Hasler, 2013).

Die Visionen davon, was die Technologie in Zukunft mal können soll, überhöhen die Möglichkeit und Relevanz nicht-medizinischer Anwendungen und erzeugen falsche Erwartungen, schüren unnötige Ängste und Missverständnisse bei Nutzer:innen, Öffentlichkeit, Politik und Wissenschaft (Nordmann, 2007). Diese Hype-Dynamik wird angetrieben durch die mediale Inszenierung privater Neurotechnologie-Unternehmen aus dem Silicon Valley, wie Elon Musks Neuralink oder das Start-up Nectome. Beide beschreiben Neurotechnologien zum Beispiel als Weg zur digitalen Speicherung des menschlichen Geistes und zur Erreichung von Unsterblichkeit (Mehnert, 2023). Diese Darstellung hat nichts mit den Möglichkeiten der Technologien zu tun und bedient sich stattdessen gezielt an Erzählungen aus der Science-Fiction, um Geldgeber zur Investition zu überzeugen. Dabei verzerren diese Erzählungen nicht nur die Debatte über die Technologie und was damit möglich sein könnte, sie sind auch aufgeladen mit problematischen, ideologischen Weltanschauungen, die sich so unhinterfragt verbreiten (Coenen, 2024; Coenen et al., 2010). Hieraus wächst die Gefahr, dass bestimmte Gruppen, etwa Menschen mit Behinderungen, nicht als aktive Mitgestalter, sondern lediglich als passive Nutznießer gesehen werden und somit nicht in die Entwicklung der Anwendungen integriert werden. Damit reproduziert sich ein ableistisches Denken, das bestehende Ungleichheiten verstärkt statt Inklusion und gesellschaftliche Teilhabe zu fördern (Peterson, 2021).

Diese Dynamiken machen deutlich, dass Neurotechnologien auch kulturelle Narrative formen, die den gesellschaftlichen Zusammenhalt beeinflussen. Ein gesellschaftlich und demokratisch legitimierter, inklusiver Diskurs ist daher notwendig, um die Akzeptanz von problematischen Anwendungen und deren verantwortungsvolle Integration in den Alltag zu ermöglichen.

3. RECHTLICHE UND REGULATORISCHE HERAUSFORDERUNGEN

Wie viele emergierende Technologien steht auch die Regulierung von Neurotechnologien vor einem Dilemma: Einerseits müssen Schutzmechanismen etabliert werden, um Missbrauch, Risiken und nicht-verantwortungsvolle Nutzung zu verhindern, andererseits dürfen diese Regelwerke Forschung und Innovation nicht so stark einschränken, dass das gemeinwohlorientierte positive Potential von Forschung und Entwicklung gebremst wird (Antal et al., 2024) und nicht zur Entfaltung kommt.

Eine der bedeutendsten Entwicklungen im rechtlichen Bereich ist die Verfassungsänderung in Chile, die den Schutz der mentalen und physischen Integrität gegenüber den potenziellen Gefahren von Neurotechnologien

ausdrücklich verankert und womit Chile weltweit eine Vorreiterrolle im Schutz sogenannter Neurorechte einnimmt (Cornejo-Plaza et al., 2024; McCay, 2024). Die 2021 verabschiedete Gesetzesänderung entstand aus der Sorge, dass bestehende Menschenrechtsrahmen den Herausforderungen durch neue Technologien nicht ausreichend Rechnung tragen könnten. Diese Maßnahme hat Diskussionen darüber angestoßen, ob andere Staaten Chiles Beispiel folgen sollten, um ethische und rechtliche Fragen proaktiv anzugehen, bevor Neurotechnologien weit verbreitet sind (Ruiz et al., 2024). Das Konzept der Neurorechte wird jedoch auch kritisch bewertet, da nach Auffassung österreichischer Expert:innen der bestehende völker- und menschenrechtliche Rahmen bereits geeignet ist, die durch Neurotechnologien aufgeworfenen Fragen bzw. Fragen des Humanitären Völkerrechts angemessen abzudecken.

Obwohl die EU bereits über robuste Datenschutzregelungen verfügt, gilt es als noch nicht abschließend geklärt, ob spezifische zusätzliche Vorschriften zur Regulierung von Neurotechnologien erforderlich sind. Gerade nicht-medizinische Anwendungen aus dem Bereich Kunst, Gaming, Arbeitsüberwachung, Leistungs-Tracking, Steuerung, Freizeit oder Wellness unterliegen verstreuten Regelungen und es bleibt zu bestimmen, ob der gegebene Gesetzesrahmen ausreicht oder erweitert werden müsste (Steindl, 2024).

Diese Diskussion verschärft sich mit Blick auf Neurodaten, also Daten, die basierend auf der Gehirnaktivität von Patient:innen oder Nutzer:innen erhoben werden. Der European Data Protection Supervisor (EDPS) Bericht von 2024 warnt davor, dass mit dem zunehmenden Einsatz von Neurotechnologien außerhalb der Medizin (etwa in Arbeit, Bildung oder Unterhaltung) neue Risiken für Privatsphäre, Autonomie und mentale Integrität entstehen (EDPS, 2024). Die León-Erklärung zur europäischen Neurotechnologie plädiert im selben Kontext für einen menschenzentrierten und rechtsbasierten Ansatz im Umgang mit Neurotechnologien und den erhobenen Daten. Bestehende Regulierungen, etwa im Bereich Medizinprodukte oder Datenschutz, werden hier als unzureichend bewertet, um die komplexen ethischen und rechtlichen Fragen der Neurotechnologien abzudecken. Die Erklärung warnt davor, wirtschaftliche Interessen und Innovationsdruck über Grundrechte wie Würde, Freiheit und mentale Autonomie zu stellen, und betont die Notwendigkeit, neue Schutzmechanismen zu entwickeln (Goldman, 2023).

Darüber hinaus hat die neue KI-Verordnung der Europäischen Union (AI Act) bedeutende Auswirkungen auf Neurotechnologien, insbesondere jene, die auf KI-gesteuerter Verarbeitung von Neurodaten basieren.

Die Verordnung enthält Bestimmungen, die die Nutzung von KI in einer Weise verhindern sollen, die die mentale Integrität beeinträchtigt oder Menschen manipuliert. Sie untersagt insbesondere KI-Anwendungen wie Emotionserkennung in sensiblen Kontexten, was direkte Auswirkungen auf neurotechnologische Anwendungen hat (Bublitz et al., 2024). Letztlich geht es in den Diskussionen auch darum, ob der rechtliche Rahmen der EU, insbesondere durch Instrumente wie die Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO), mit Blick auf Neurotechnologien erweitert oder angepasst werden muss.

4. POLITISCHE UND INTERNATIONALE HERAUSFORDERUNGEN

Angesichts der globalen Dimension der Neurotechnologieentwicklung wird der globale Dialog wichtiger, um die Kooperation zu ethischen und rechtlichen Herausforderungen von Neurotechnologien zu fördern. Die Bedingungen für eine internationale Governance dieser Technologien werden derzeit in zwischenstaatlichen Foren der Vereinten Nationen, etwa in der UNESCO oder im Menschenrechtsrat oder der Generalversammlung der UN verhandelt.

Gleichzeitig verfolgen globale Regionen wie die EU, die USA und China sehr unterschiedliche Strategien: Während Europa einen werteorientierten Ansatz mit Fokus auf Menschenrechte und Datensicherheit betont, betrachten die USA viele Neurotechnologien als Konsumprodukte und fördern die Entwicklung und marktorientierte Vorherrschaft. China entwickelt währenddessen eigene strategische Leitlinien im Rahmen seiner technologiepolitischen Strategien (Kania, 2019; Mullin, 2025).

Diese Divergenzen erschweren gemeinsame Standards und bergen das Risiko geopolitischer Konflikte. Hinzu kommt die Gefahr einer neuen Form der globalen Ungleichheit: Länder mit geringeren Ressourcen könnten lediglich als Absatzmärkte auftreten, ohne an Forschung und Entwicklung beteiligt zu sein. Politische Weichenstellungen auf internationaler Ebene sind daher entscheidend, um Fairness, Sicherheit und globale Teilhabe zu gewährleisten. Dies passiert, unter anderem, in Organisationen wie der UNESCO (2024), in deren Rahmen eine neue, alle 194 Mitgliedstaaten adressierende Empfehlung zu den ethischen Aspekten von Neurotechnologien bei der Generalkonferenz am 08. November 2025 angenommen wurde (UNESCO, 2025) oder der OECD (2019), die mit der Recommendation on Responsible Innovation in Neurotechnology die ersten zwischenstaatlichen Standards gesetzt hat.

5. DUAL-USE HERAUSFORDERUNGEN

Die Entwicklung von Neurotechnologien steht exemplarisch für die Dual-Use-Problematik moderner Wissenschaft: dieselben technischen Fortschritte, die das Leben von Patientinnen und Patienten verbessern, können zugleich für Überwachung, Manipulation oder militärische Zwecke genutzt werden. Gehirn-Computer-Schnittstellen, Neurostimulation aber auch leistungssteigernde Medikamente sollen Soldat:innen wacher, belastbarer und entscheidungsstärker machen. Aktuelle Forschungsvorhaben aus den USA (Becomes, 2024) und in China (Gertz, 2025) machen die Vision deutlich, dass über Neurotechnologien in Zukunft Waffensysteme direkt per Gedanken gesteuert werden sollen oder die sensorischen Eindrücke von Soldat:innen technologisch erweitern werden (Dengg, 2025).

Doch auch hier ist die Technologie mit nicht unerheblichen Risiken verbunden: Brain Computer Interfaces (BCIs) reagieren empfindlich auf Hitze, Erschütterung oder Störungen und können damit die erhobenen Daten verfälschen. Ebenso können KI-gestützte Systeme Daten falsch interpretieren oder von extern manipuliert werden. So drohen Fehlentscheidungen, Kontrollverlust und der Verlust menschlicher Handlungsfreiheit (Gielas, 2025).

Der Einsatz von Neurotechnologien in der Strafverfolgung und Strafrechtspflege wirft ebenso komplexe ethische und menschenrechtliche Fragen auf. Solche Technologien könnten theoretisch zur Gedächtnisrekonstruktion, Lügendetektion, Erkennung von Absichten oder Emotionen, Rehabilitation oder zur Überwachung neurokognitiver Zustände von Verdächtigen oder Inhaftierten verwendet werden. Diese Entwicklungen stellen bestehende menschenrechtliche und strafprozessuale Garantien – insbesondere den Schutz vor Selbstbelastung und vor unmenschlicher oder erniedrigender Behandlung – vor neue Herausforderungen.

Zudem wirft die Militarisierung von Neurotechnologien (z.B. Steuerung von Drohnen und Fahrzeugen, kognitive Leistungssteigerung von Soldat:innen, Neurofeedback für Resilienz und Stressregulation, Monitoring von Leistung) ethische und rechtliche Fragen auf: Wer trägt Verantwortung, wenn Maschinen und Menschen verschmelzen? Wie lässt sich Einwilligung, Datenschutz und die Einhaltung des humanitären Völkerrechts sichern? Ohne klare Regeln droht ein globales „Neurowaffenrennen“, ähnlich dem nuklearen Wettlauf des 20. Jahrhunderts (Staff, 2007). Gefordert sind daher internationale Normen, Transparenz und eine enge Verbindung von KI- und Neuro-Governance, um neurotechnologische Innovation auch in diesem Bereich verantwortlich zu gestalten.

ÖSTERREICHISCHE AKTIVITÄTEN

Österreich ist aktiv in die internationalen Debatten um Neurotechnologien eingebunden und verfügt über eine vielfältige Innovationslandschaft von Unternehmen, Forschungseinrichtungen, Kliniken und Vermittlungsplattformen. Diese Kombination aus technologischer Exzellenz, klinischer Praxis und gesellschaftlicher Kommunikation bietet eine starke Ausgangsbasis, um im europäischen Kontext eine aktive Rolle einzunehmen.

UNTERNEHMEN UND KLINISCHE EINRICHTUNGEN

g.tec medical engineering (Schiedlberg, OÖ) ist ein führendes Unternehmen im Bereich invasiver und nicht-invasiver BCIs. Produkte wie g.Hlamp, g.Nutilus und recoveriX werden weltweit in klinischer Rehabilitation und Forschung eingesetzt. g.tec entwickelt zudem Systeme wie cortiQ für die präoperative Kartierung und engagiert sich in Anwendungen für Locked-in-Patient:innen oder Epilepsiechirurgie.

Das **Johannes Kepler Uniklinikum** (Linz) beherbergt Österreichs größte neurochirurgische Universitätsklinik unter der Leitung von Prof. Dr. Andreas Gruber. In fünf Operationssälen werden hier rund 2.600 Operationen jährlich durchgeführt.

FORSCHUNG UND GRUNDLAGENWISSENSCHAFT

Die **Medizinische Universität Wien** treibt die Grundlagenforschung im Bereich Neuroprothesen und neuronale Schnittstellen voran, etwa durch die neue Professur von Prof. Dr. Stanisa Raspopovic für Biomedical Engineering. An der Schnittstelle von Neurowissenschaft, Ingenieurwesen und digitaler Innovation erweitert das Institut die Möglichkeiten der Neurorehabilitation und von assistiven Technologien.

Das **Institute of Neural Engineering der Technischen Universität Graz** unter der Leitung von Prof. Dr. Gernot R. Müller-Putz ist ein international führendes Forschungszentrum für Gehirn-Computer-Kommunikation. Es verfügt über umfassende Expertise in EEG-Technologien, Signalverarbeitung, maschinellem Lernen und Neurofeedback. Mit dem Graz BCI entwickelte das Institut eines der ersten EEG-basierten Brain-Computer-Interfaces und realisierte Anwendungen wie Schreibsysteme, Computerspiele und funktionelle Elektrostimulation.

Die Forschungsgruppe **Cognition Research** an der **Medizinischen Universität Graz** untersucht unter der Leitung von Priv.-Doz. Mag. Dr. Nina Dalkner die Mechanismen des Denkens und ihren Einfluss auf die psychische Gesundheit. Im Fokus stehen Entscheidungsfindung, logisches Denken, exekutive Funktionen und Metakognition. Durch die Verbindung von psychologischer Forschung und technologischen Methoden entwickelt das Team neue Ansätze zur Förderung von mentalem Wohlbefinden und Resilienz.

PARTIZIPATIVE FORMATE UND BÜRGERDIALOGE

Das **Ars Electronica NeuroExperience Lab** (Linz) bietet einen öffentlich zugänglichen Erfahrungsraum, in dem Bürger:innen ihre Gehirnaktivität mittels BCI erfahrbar machen können. Ziel ist nicht primär Forschung, sondern Wissenschafts- und Öffentlichkeitskommunikation: Projekte wie Solastalgia – BCI oder NEUROPPRINT sensibilisieren für Themen wie Nachhaltigkeit, Medienwirkung und kognitive Prozesse. Klinische Systeme wie mindBEAGLE oder recoveriX werden hier zur Vermittlung gezeigt.

Das **Austrian Institute of Technology** führte in Kollaboration mit dem **BMEIA** und dem **Ars Electronica Center** zwei Zukunftsdialoge zum Thema Neurotechnologien durch, um gezielt den öffentlichen Diskurs zu dem Thema zu bedienen. Der erste Zukunftsdialog (Wien, Dezember 2024, im Stadtkino) thematisierte Menschenrechte, Ethik und Sicherheit sowie Zukunftsvisionen neurotechnologischer Entwicklungen. Der zweite Zukunftsdialog (Linz, April 2025, Ars Electronica Center) fand im Rahmen der Neurotechnologie-Tage am Ars Electronica Center statt. Eingeladene Expert:innen von Forschung, Militär, Kunst und Zivilgesellschaft diskutierten gemeinsam mit Bürger:innen über die Chancen und Risiken dieser Technologien.

POLITIKBERATUNG

An der **Universität Graz** wurde eine Studie im Auftrag des Europäischen Parlaments zu den ethischen, rechtlichen, sozialen und psychologischen Auswirkungen moderner Neurotechnologien durchgeführt. Das interdisziplinäre Team um Prof. Dr. Guilherme Wood, Prof. Dr. Elisabeth Staudegger, Prof. Dr. Juliane Jarke und Prof. Dr. Thomas Gremsl zeigt, dass sowohl invasive als auch nicht-invasive Neurotechnologien neue

Herausforderungen für Freiheit, mentale Integrität und Datenschutz mit sich bringen. Im Zentrum steht das Konzept der Neurorechte (Neurorights), das den Schutz geistiger und neuronaler Autonomie betont.

Das **Austrian Institute of Technology** koordinierte das EU-Projekt TechEthos in dessen Rahmen Leitlinien für die verantwortliche Gestaltung von Neurotechnologien entwickelt wurden. Besonders innovativ war der Einsatz eines eigens entwickelten Serious-Game Formats, das es Bürger:innen und Expert:innen in sechs europäischen Ländern ermöglichte, ihre Erwartungen, Hoffnungen und Sorgen zu diskutieren.

Österreich beteiligt sich auch an der internationalen Normsetzungsarbeit, etwa bei der Verhandlung der UNESCO-Empfehlung zur Ethik der Neurotechnologien.

Um die österreichische Perspektive einzubringen leitete das **BMEIA**, vertreten durch Dr. Claudia Reinprecht, einen nationalen Stakeholder-Konsultationsprozess mit Vertreter:innen aus Regierung, Privatwirtschaft, Forschung, Hochschulen und Zivilgesellschaft. Damit zeigt Österreich, dass es nicht nur in Forschung und Praxis, sondern auch in die internationale Governance-Debatte substanzielle Beiträge einzubringen in der Lage ist. Österreichische Akteure stehen dabei auch vor denselben Herausforderungen wie die europäische und internationale Community: von regulatorischen Fragen der Produktsicherheit und Klassifizierung bis hin zu ethischen Leitlinien und Grundrechtsdebatten. Dies verdeutlicht, dass Österreichs Aktivitäten nicht isoliert zu betrachten sind, sondern als Teil einer globalen Auseinandersetzung um die Governance von Neurotechnologien.

EMPFEHLUNGEN

Um die Chancen neurotechnologischer Innovationen zu nutzen und zugleich Risiken für Grundrechte, Autonomie und gesellschaftlichen Zusammenhalt zu minimieren, sollte Österreich eine integrierte Strategie verfolgen. Diese sollte die klinische Anwendung, die wissenschaftliche Forschung, den Konsumentenbereich sowie gesellschaftliche Kommunikation gleichwertig berücksichtigen. Daraus ergeben sich folgende Empfehlungen:

1. FORSCHUNG UND INNOVATION GEZIELT FÖRDERN

Unternehmen wie g.tec, das Johannes Kepler Uniklinikum und Forschungsgruppen in Wien und Graz haben bereits internationale Sichtbarkeit. Diese Expertise sollte durch gezielte Förderprogramme auf nationaler wie auch internationaler Ebene gestärkt werden und dabei sowohl die technologische Entwicklungen als auch die sozialwissenschaftliche und ethische Begleitforschung im Auge behalten. Besondere Aufmerksamkeit sollte dabei den Risiken von Enhancement-Anwendungen gelten, um frühzeitig Risiken für die körperliche Gesundheit (insbesondere bei vulnerablen Gruppen) aber auch gesellschaftlichen Auswirkungen identifizieren zu können.

2. GESELLSCHAFTLICHEN DIALOG INSTITUTIONALISIEREN

Partizipative Formate wie die AIT-Zukunftsdialoge und das Ars Electronica NeuroExperience Lab zeigen, wie Neurotechnologien in der Gesellschaft diskutiert und erfahrbar gemacht werden können. Österreich sollte

solche Plattformen langfristig unterstützen und eine kontinuierliche Beteiligung von Bürger:innen, Expert:innen und politischen Entscheidungsträger:innen etablieren. Auf diese Weise kann auch verhindert werden, dass die Erwartungshaltung in der Gesellschaft sich zu weit von der technischen Machbarkeiten und wissenschaftlichen Realität entfernt.

3. REGULATORISCHE VORBEREITUNG STÄRKEN

Parallel zu der Diskussion um den Status von neuronalen Daten sollte Österreich nationale Leitlinien entwickeln, die explizit auf den Schutz des Rechts des Privat- und Familienlebens und Recht auf Gedankenfreiheit eingehen. Einschränkungen von Grundrechten müssen dabei stets rechtmäßig, notwendig, verhältnismäßig und im Einklang mit völkerrechtlichen Verpflichtungen, insbesondere den Menschenrechten und des Humanitären Völkerrechts, erfolgen. Das normative Leitprinzip der kognitiven Freiheit sollte explizit in politische Strategien aufgenommen werden: Es umfasst sowohl das Recht, neurotechnologische Hilfen anzunehmen, als auch das Recht, solche Eingriffe abzulehnen, ohne daraus Nachteile zu erleiden.

4. EINE NATIONALE NEUROTECHNOLOGIE-STRATEGIE ENTWICKELN

Österreich verfügt über hervorragende Voraussetzungen, um eine nationale Neurotechnologie-Strategie zu entwickeln, die regulatorische, wissenschaftliche, klinische und gesellschaftliche Dimensionen integriert. Eine solche Strategie kann eine kohärente Vision für den

verantwortungsvollen Umgang mit Neurotechnologien schaffen, internationale Allianzen stärken und Österreich als Modellregion für verantwortungsvolle Technologiegestaltung im europäischen Kontext profilieren.

Da Neurotechnologien ein Querschnittsthema mit hoher gesellschaftlicher Relevanz darstellen, bietet sich die Chance, Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten innerhalb der Bundesverwaltung neu und klar zu definieren. Mehrere Ressorts, darunter das Bundesministerium für Arbeit, Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, das Bundesministerium für Landesverteidigung sowie das Bundesministerium für Europäische und internationale Angelegenheiten, verfügen über wertvolle Expertise und Perspektiven, die in einen koordinierten

Prozess eingebracht werden können. Auch die Bioethikkommission beim Bundeskanzleramt kann dabei eine zentrale Rolle spielen, etwa als beratendes Forum zu ethischen Aspekten von Neurotechnologien.

Ein erster Schritt würde die relevanten Akteure und Institutionen systematisch erfassen und auf dieser Basis eine nationale Multi-Stakeholder-Plattform zu etablieren. Diese Plattform kann den Dialog zwischen Wissenschaft, Politik, Wirtschaft, Zivilgesellschaft und Ethikinstitutionen fördern und gemeinsam an der Ausgestaltung einer nachhaltigen und zukunftsorientierten Neurotechnologie-Strategie arbeiten; mit klaren Zielen, abgestimmten Zuständigkeiten und einem verbindlichen Fahrplan für die Umsetzung.

FAZIT

Die rasante Entwicklung neurotechnologischer Anwendungen verdeutlicht, dass grundlegende Fragen von Autonomie, Privatsphäre und Gerechtigkeit nicht länger nur in der medizinischen Fachdebatte verhandelt werden dürfen. Vielmehr geht es um politische Weichenstellungen, die das Verhältnis von Mensch, Technik und Gesellschaft in den kommenden Jahrzehnten prägen werden. Neurotechnologien betreffen nicht nur die unmittelbare Gegenwart, sondern auch die Lebensrealitäten zukünftiger Generationen. Entscheidungen über Regulierung, Förderung und gesellschaftliche Akzeptanz wirken sich direkt auf ihre Handlungsspielräume aus. Deshalb sollte jede nationale Strategie ausdrücklich auch Fragen der intergenerationalen Gerechtigkeit berücksichtigen.

Österreich ist durch seine Kombination aus innovativen Unternehmen, klinischer Expertise, forschungsstarken Universitäten und etablierten Dialogformaten in einer guten Ausgangsposition. Diese Vielfalt ermöglicht es, wissenschaftliche Exzellenz, ethische Reflexion und gesellschaftliche Teilhabe zu verbinden. Österreich kann damit im internationalen Kontext eine Vorreiterrolle einnehmen, sowohl bei der Entwicklung neuer Standards als auch bei der Etablierung partizipativer Formate, die international Beachtung finden. Durch eine vorausschauende Neurotechnologie-Strategie, die Forschung, Regulierung und gesellschaftlichen Dialog integriert, kann Österreich nicht nur zum europäischen, sondern auch zum globalen Modell einer verantwortungsvollen Gestaltung von Neurotechnologien werden.



Hier finden Sie alle weiteren
Foresight Briefs der Reihe
Transformation Pathways and
Strategies

REFERENZEN

Ali, S. S., Lifshitz, M., & Raz, A. (2014). Empirical neuroenchantment: From reading minds to thinking critically. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 357. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00357>

Antal, A., Ganho-Ávila, A., Asseconci, S., Barbour, T., Bjekic, J., Blumberger, D. M., Bolognini, N., Brunelin, J., Chanes, L., Dale, M., Dubbioso, R., D'Urso, G., Filipcic, I., Filipovic, S. R., Hirnstein, M., Konings, F., Langguth, B., Leocani, L., Sorkhabi, M. M., ... Baeken, C. (2024). The consequences of the new European reclassification of non-invasive brain stimulation devices and the medical device regulations pose an existential threat to research and treatment: An invited opinion paper. *Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 163, 280–291. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2024.03.039>

Becomes, J. G. (2024, Oktober 30). DARPA's N3: The Future of Non-Surgical Brain Interfaces. Institute for Biodefense Research. <https://biodefenseresearch.org/darpas-n3-the-future-of-non-surgical-brain-interfaces/>

Bublitz, C., Molnár-Gábor, F., & Soekadar, S. R. (2024). Implications of the novel EU AI Act for neurotechnologies. *Neuron*, 112(18), 3013–3016. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2024.08.011>

Bublitz, J. C. (2014). Freedom of Thought in the Age of Neuroscience. *Archiv für Rechts- und Sozialphilosophie*, 100(1), 1–25. <https://doi.org/10.25162/arsp-2014-0001>

Bublitz, J. C. (2020). The Nascent Right to Psychological Integrity and Mental Self-Determination. In A. von Arnould, K. von der Decken, & M. Susi (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of New Human Rights: Recognition, Novelty, Rhetoric* (S. 387–403). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108676106.031>

Coenen, C. (2024). Big Tech: Rechte Digitalbarone gefährden die Demokratie. *Tagesspiegel Background Digitalisierung & KI*. <https://background.tagesspiegel.de/digitalisierung-und-ki/briefing/rechte-digitalbarone-gefaehrden-die-demokratie>

Coenen, C., Gammel, S., Heil, R., & Woyke, A. (2010). *Die Debatte über »Human Enhancement«: Historische, philosophische und ethische Aspekte der technologischen Verbesserung des Menschen* (1. Aufl.). transcript Verlag. <https://www.transcript-verlag.de/978-3-8376-1290-5/die-debatte-ueber-human-enhancement/>

Cornejo-Plaza, M. I., Cippitani, R., & Pasquino, V. (2024). Chilean Supreme Court ruling on the protection of brain activity: Neurorights, personal data protection, and neurodata. *Frontiers in Psychology*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1330439>

Dengg, O. Dr. A. (Hrsg.). (2025). *Icarus' Wings*. Landesverteidigungsakademie (LVAK) / Institut für Friedenssicherung und Konfliktmanagement (IFK). <http://www.bmlv.gv.at/wissen-forschung/publikationen/publikation.php?id=1231>

Drew, L. (2022). Abandoned: The human cost of neurotechnology failure. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/d41586-022-03810-5>

Dubiel, H. (2006). *Tief im Hirn*. Antje Kunstmann Verlag. <https://www.perlentaucher.de/buch/helmut-dubiel/tief-im-hirn.html>

EDPS. (2024). TechDispatch #1/2024—Neurodata. <https://www.edps.europa.eu/data-protection/our-work/publications/techdispatch/2024-06-03-techdispatch-12024-neurodata>

European Research Council. (2013). ERC projects to unravel mysteries of human brain. ERC. <https://erc.europa.eu/projects-statistics/science-stories/erc-projects-unravel-mysteries-human-brain>

- Farah, M. J. (2012). Neuroethics: The ethical, legal, and societal impact of neuroscience. *Annual Review of Psychology*, 63, 571–591. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.093008.100438>
- Gertz, B. (2025). Brain control warfare: China's bleeding-edge strategy for winning without firing a shot. *The Washington Times*. <https://www.washingtontimes.com/news/2025/jun/5/brain-control-warfare-chinas-bleeding-edge-strategy-winning-without/>
- Gielas, A. M. (2025). Fast and flawed: How emerging neurotechnologies can speed up and break down military decision-making processes. *Defense & Security Analysis*, 1–24. <https://doi.org/10.1080/14751798.2025.2524284>
- Goldman, B. A. (2023). Telecoms and digital ministers agree first European declaration to protect digital rights in the development of neurotechnology. https://www.lamoncloa.gob.es/lang/en/gobierno/news/paginas/2023/20231024_leon-declaration-neurotechnology.aspx
- Hasler, F. (2013). *Neuromythologie: Eine Streitschrift gegen die Deutungsmacht der Hirnforschung: Eine Streitschrift gegen die Deutungsmacht der Hirnforschung* (4., Aufl.). Transcript. <https://www.transcript-verlag.de/978-3-8376-1580-7/neuromythologie/>
- Ienca, M., Fins, J. J., Jox, R. J., Jotterand, F., Voenekey, S., Andorno, R., Ball, T., Castelluccia, C., Chavarriaga, R., Chneiweiss, H., Ferretti, A., Friedrich, O., Hurst, S., Merkel, G., Molnár-Gábor, F., Rickli, J.-M., Scheibner, J., Vayena, E., Yuste, R., & Kellmeyer, P. (2022). Towards a Governance Framework for Brain Data. *Neuroethics*, 15(2), 20. <https://doi.org/10.1007/s12152-022-09498-8>
- Kania, E. B. (2019). Minds at War: China's Pursuit of Military Advantage through Cognitive Science and Biotechnology. *PRISM*, 8(3), 82–101. JSTOR. <https://doi.org/10.2307/26864278>
- Kehl, C., & Hommrich, D. (2025). Smarte Implantate. <https://www.parlament.gv.at/fachinfos/rlw/Smarte-Implantate>
- Maier, M. J., Ramasawmy, P., Breuer, J., Bansen, A., Oliviero, A., Northoff, G., & Antal, A. (2024). Stakeholder perspectives on non-invasive brain stimulation. *Scientific Reports*, 14(1), 28592. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-79118-3>
- McCay, A. (2024). Neurorights: The Chilean constitutional change. *AI & SOCIETY*, 39(2), 797–798. <https://doi.org/10.1007/s00146-022-01396-0>
- Mehnert, W. (2023). „The future is going to be weird.“ Zur Ästhetik kommodifizierter Mind-Upload-Visionen. In M. Tamborini (Hrsg.), *Die Ästhetik der Technowissenschaften des 21. Jahrhunderts*. wbg Academic. <https://www.herder.de/wissen/shop/p8/87021-die-aesthetik-der-technowissenschaften-des-21-jahrhunderts-gebundene-ausgabe/>
- Mullin, E. (2023). The Race to Put Brain Implants in People Is Heating Up. *Wired*. <https://www.wired.com/story/the-race-to-put-brain-implants-in-people-is-heating-up/>
- Mullin, E. (2025). China Has a Controversial Plan for Brain-Computer Interfaces. *Wired*. <https://www.wired.com/story/china-brain-computer-interfaces-neuralink-neucyber-neurotech/>
- Nordmann, A. (2007). If and Then: A Critique of Speculative NanoEthics. *NanoEthics*, 1(1), 31–46. <https://doi.org/10.1007/s11569-007-0007-6>
- OECD. (2019). Recommendation of the Council on Responsible Innovation in Neurotechnology. <https://legalinstruments.oecd.org/en/instruments/OECD-LEGAL-0457>

Peterson, R. J. (2021). We need to address ableism in science. *Molecular Biology of the Cell*, 32(7), 507–510. <https://doi.org/10.1091/mbc.E20-09-0616>

Precedence Research. (2025). Neurotechnology Market Size to Hit USD 52.86 Billion by 2034. <https://www.precedenceresearch.com/neurotechnology-market>

Ruiz, S., Valera, L., Ramos, P., & Sitaram, R. (2024). Neurorights in the Constitution: From neurotechnology to ethics and politics. *Philosophical Transactions B*. <https://doi.org/10.1098/rstb.2023.0098>

Staff, B. (2007, April 9). The militarization of neuroscience. *Bulletin of the Atomic Scientists*. <https://thebulletin.org/2007/04/the-militarization-of-neuroscience/>

Steindl, E. (2024). Consumer neuro devices within EU product safety law: Are we prepared for big tech ante portas? *Computer Law & Security Review*, 52, 105945. <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2024.105945>

Strickland, E., & Harris, M. (2022, Februar 15). Their Bionic Eyes Are Now Obsolete and Unsupported. *IEEE Spectrum*. <https://spectrum.ieee.org/bionic-eye-obsolete>

Timón, L. B., & Mahieu, V. (2025, Juni 16). Neurotech consumer market atlas—How the sector is making moves into the mainstream. Centre for Future Generations. <https://cfg.eu/neurotech-market-atlas/>

UNESCO. (2024). Towards an International Instrument | UNESCO. <https://www.unesco.org/en/ethics-neurotech/recommendation>

UNESCO. (2025). Ethics of neurotechnology: UNESCO adopts the first global standard in. <https://www.unesco.org/en/articles/ethics-neurotechnology-unesco-adopts-first-global-standard-cutting-edge-technology>

Yuste, R., Goering, S., Arcas, B. A. y, Bi, G., Carmena, J. M., Carter, A., Fins, J. J., Friesen, P., Gallant, J., Huggins, J. E., Illes, J., Kellmeyer, P., Klein, E., Marblestone, A., Mitchell, C., Parens, E., Pham, M., Rubel, A., Sadato, N., ... Wolpaw, J. (2017). Four ethical priorities for neurotechnologies and AI. *Nature*, 551(7679), Article 7679. <https://doi.org/10.1038/551159a>