



ÖSTERREICHISCHE
AKADEMIE DER
WISSENSCHAFTEN



BERICHT

WIEN, MAI/2025

ITA-2025-04

WWW.OEAW.AC.AT/ITA

FORESIGHT UND TECHNIKFOLGENABSCHÄTZUNG: MONITORING VON ZUKUNFTSTHEMEN FÜR DAS ÖSTERREICHISCHE PARLAMENT

MAI 2025



FORESIGHT UND TECHNIKFOLGENABSCHÄTZUNG: MONITORING VON ZUKUNFTSTHEMEN FÜR DAS ÖSTERREICHISCHE PARLAMENT

MAI 2025

Institut für Technikfolgen-Abschätzung (ITA)
der Österreichischen Akademie der Wissenschaften

In Kooperation mit:

Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)
am Karlsruher Institut für Technologie

Projektleitung *Michael Nentwich*

Autor:innen *Christian Büscher [CB] (ITAS)*

Fabian Fischer [FF] (ITA)

Niklas Gudowsky-Blatakes [NG] (ITA)

Christoph Kehl [CK] (ITAS)

Harald König [HK] (ITAS)

Dirk Hommrich [DH] (ITAS)

Michael Nentwich [MN] (ITA)

Pauline Riousset [PR] (ITAS)

Bericht im Auftrag des österreichischen Parlaments

Wien, Mai/2025

IMPRESSUM

Medieninhaber:

Österreichische Akademie der Wissenschaften
Juristische Person öffentlichen Rechts (BGBl 569/1921 idF BGBl I 31/2018)
Dr. Ignaz Seipel-Platz 2, A-1010 Wien

Herausgeber:

Institut für Technikfolgen-Abschätzung (ITA)
Bäckerstraße 13, A-1010 Wien
www.oeaw.ac.at/ita

Die ITA-Projektberichte erscheinen unregelmäßig und dienen der Veröffentlichung
der Forschungsergebnisse des Instituts für Technikfolgen-Abschätzung.

Die Berichte erscheinen in geringer Auflage im Druck und werden über das
Internetportal „epub.oeaw“ der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt:
epub.oeaw.ac.at/ita/ita-projektberichte

Umschlagbild: © Parlamentsdirektion/Bildagentur Zolles KG/Martin Steiger

Bericht Nr.: ITA-2025-04 (Wien, Mai/2025)
ISSN: 1819-1320
ISSN-online: 1818-6556
epub.oeaw.ac.at/ita/ita-projektberichte/ITA-2025-04.pdf
parlament.gv.at/fachinfos/rlw/zukunftsthemen



Dieser Bericht unterliegt der Creative Commons Attribution 4.0 International License:
creativecommons.org/licenses/by/4.0/

INHALT

ZUSAMMENFASSUNG	6
1 EINLEITUNG	9
1.1 VORGANGSWEISE	10
1.2 RELEVANZKRITERIEN	11
1.3 BASISQUELLEN FÜR DIESE BERICHTSVERSION	12
2 AKTUELLE SOZIO-TECHNISCHE ENTWICKLUNGEN	14
SMARTE IMPLANTATE	15
NICHT-MILITÄRISCHE DROHNENABWEHR	21
HUMANOIDE ROBOTER	27
GESELLSCHAFTLICHE FOLGEN HYBRIDER ARBEITSFORMEN	33
KI-AGENTEN	39
PLASTIK UND MENSCHLICHE GESUNDHEIT	45
HIRNORGANOIDE (AKTUALISIERT)	51
BATTERIESYSTEME DER ZUKUNFT (AKTUALISIERT)	57
PROTEINWENDE – ALTERNATIVE EIWEISSQUELLEN BREITENWIRKSAM NUTZEN (AKTUALISIERT)	63
WALD: BRÄNDE UND WIEDERHERSTELLUNG (AKTUALISIERT)	69
GESUNDHEITLICHE FOLGEN DER DIGITALISIERUNG (AKTUALISIERT)	75
KOLLABORATIVE INDUSTRIEROBOTER (AKTUALISIERT)	81
3 AKTUELLE EPTA-STUDIEN	86

ZUSAMMENFASSUNG

Für diesen Bericht wurden folgende sechs neue sozio-technische Themen als besonders relevant für Österreich und das österreichische Parlament identifiziert:

Smarte neurotechnologische Implantate ermöglichen eine direkte Interaktion zwischen Nervensystem und Technik und vereinen Energieautarkie, bidirektionale Kommunikation und adaptive Steuerung. Sie verbessern etablierte Therapien wie die sog. Tiefe Hirn- oder die Vagusnervstimulation und bieten Potenzial für neue Anwendungen in Orthopädie, Prothetik und zur Behandlung chronischer Erkrankungen. Technische Herausforderungen bestehen u. a. hinsichtlich Langzeitstabilität und autonomer Steuerung; ethische in Bezug auf Autonomie, Identität und Datenschutz. Die Marktentwicklung ist durch hohe regulatorische Hürden und wirtschaftliche Risiken geprägt, insbesondere für Start-ups. Mit der weiteren Entwicklung und Verbreitung fortschrittlicher Implantate könnten sich Human Enhancement und Neuroabandonment, d. h. der Wegfall der Versorgung mit implantierter Medizintechnik durch die Hersteller (z. B. aufgrund von Insolvenz), als zunehmende Risiken erweisen. Ein breiter öffentlicher Diskurs über Nutzen und Risiken smarter Implantate wird empfohlen.

Smarte Implantate

Die rasante Entwicklung der Drohnentechnologie hat zu zivilen Anwendungen in Bereichen wie Forschung, Logistik und Sicherheit geführt. Unbemannte Luftfahrzeuge (UAVs) werden zunehmend auch in der Landwirtschaft, Logistik oder zur Freizeitgestaltung eingesetzt. Sie spielen aber auch eine entscheidende Rolle in der modernen Kriegsführung. Diese Verbreitung wirft Sicherheitsbedenken auf, da Drohnen für Spionage und terroristische Aktivitäten missbraucht werden können. Technologien zur Erkennung und Neutralisierung von Drohnen sind unerlässlich, um diese Risiken zu mindern. In Österreich ist der zivile Drohnenbetrieb durch EU-Richtlinien geregelt und wird von mehreren staatlichen Stellen überwacht. Ein kontinuierliches Monitoring der technischen Entwicklungen ist unerlässlich, um den sich ständig weiterentwickelnden Herausforderungen der UAV-Technologie gerecht zu werden.

Nicht-militärische Drohnenabwehr

Bislang spielten humanoide Roboteranwendungen vor allem in der Science-Fiction eine prominente Rolle, auf dem Markt konnten sie sich noch nicht durchsetzen. Inzwischen könnten sie jedoch vor dem Durchbruch stehen. Verantwortlich dafür sind u. a. Fortschritte in der künstlichen Intelligenz, in Form von sogenannten multimodalen Sprachmodellen, die Bilddaten, Sprachdaten und Sensordaten verarbeiten können. Trotz anhaltender Schwierigkeiten bei der Entwicklung und Produktion bieten humanoide Roboter ein beträchtliches Potenzial für den Einsatz in vielen Bereichen des menschlichen Lebens, z. B. bei militärischen Operationen, in der Industrie, bei Rettungseinsätzen, im Gesundheitswesen, im Bildungswesen, bei der persönlichen Unterstützung, in der Unterhaltung und in der Landwirtschaft. Mit der zunehmenden Verbreitung von humanoiden Robotern stellen sich rechtliche und ethische Fragen in Bezug auf Haftung, Datenschutz und mögliche Verdrängung von Arbeitsplätzen.

Humanoide Roboter

In der COVID-19-Pandemie kam es, um Infektionen zu vermeiden, zu einem abrupten und starken Anstieg der Homeoffice-Nutzung. Aktuelle Studien zeigen, dass die Häufigkeit von Homeoffice seit Ende der Pandemie zurückgegangen ist, aber immer noch über dem Niveau vor der Pandemie liegt. Unter dem Begriff hybride Arbeit wird neben Homeoffice auch mobiles Arbeiten gefasst. Je nach konkreter Ausgestaltung bietet hybride Arbeit Vorteile auf individueller (Zeitersparnis, Work-Life-Balance) und gesellschaftlicher Ebene (Verringerung des Verkehrsaufkommens, Attraktivität peripherer Regionen), denen aber auch Nachteile entgegenstehen: Auf individueller Ebene bestehen Risiken wie ständige Erreichbarkeit, Ergonomie und hoher Produktivitätsdruck. Auf gesellschaftlicher Ebene ist die Möglichkeit hybrider Arbeit je nach Sektor und Rolle im Unternehmen ungleich verteilt und die Abhängigkeit von (außereuropäischen) Technologie-Unternehmen kann steigen.

Hybride Arbeitsformen

KI-Agenten bauen auf den Entwicklungen der letzten Jahre im Bereich generativer KI auf, konzentrieren sich jedoch auf die Ausführung von Aktionen in der digitalen oder physischen Welt und nicht auf die Generierung von Inhalten. Durch Kontext-Verständnis, die Nutzung von „Werkzeugen“ und die Fähigkeit zur Planung sind sie in der Lage, komplexe Aufgaben zu lösen und Ziele ohne enge menschliche Aufsicht zu verfolgen. In fortgeschrittenen Einsatzszenarien arbeiten mehrere spezialisierte KI-Agenten zusammen. Von der technologischen Basis der großen Sprachmodelle übernehmen KI-Agenten aber auch deren Nachteile wie Unzuverlässigkeit und mangelnde Fähigkeiten, logisch zu schließen. Bei vielen angepriesenen Szenarien wie automatischer Urlaubsplanung und -buchung stellen sich besonders Fragen nach Haftung und Schutz hochsensibler Daten.

KI-Agenten

Mikro- und Nanoplastik ist allgegenwärtig und wird von Menschen vor allem über die Atmung und die Nahrung aufgenommen. Das Forschungsfeld zu gesundheitlichen Auswirkungen beim Menschen ist relativ jung, und es bestehen einige methodische Herausforderungen. Trotzdem häufen sich Hinweise auf erhebliche gesundheitliche Auswirkungen. Die meisten Mikroplastikpartikel werden ausgeschieden, doch ein Teil gelangt über Darm oder Lunge in den Blutkreislauf und kann sich in Blutgefäßen, Gehirn und Organen ablagnern. Diese Ablagerungen können Entzündungen verursachen und werden mit einem erhöhten Risiko für Herzinfarkt, Schlaganfall oder Tod assoziiert. Mikroplastik steht im Zusammenhang mit Krebs, Asthma, neurologischen Störungen, Darmerkrankungen und Immunreaktionen, die Autoimmunerkrankungen begünstigen können.

Plastik und menschliche Gesundheit

Weiters wurden folgende sechs sozio-technische Themen aus dem Bericht von November 2024 aktualisiert:

Aktualisierungen

- Hirnorganoide
- Batteriesysteme der Zukunft
- Proteinwende – Alternative Eiweißquellen breitenwirksam nutzen
- Wald: Brände und Wiederherstellung
- Gesundheitliche Folgen der Digitalisierung
- Kollaborative Industrieroboter

Darüber hinaus ergab die Analyse der Berichte, die von Mitgliedsinstitutionen des Netzwerks der Europäischen Parlamentarischen Technikfolgenabschätzungeinrichtungen (EPTA) seit November 2024 fertiggestellt wurden, dass folgende Themen für das österreichische Parlament besonders interessant erscheinen:

- Soziale Medien
- Energiesicherheit
- Telekommunikation
- Geistige Gesundheit und KI
- Biodruck in der Medizin
- Wärme- und Kälteerzeugung
- Weltraummüll
- Kritische Rohstoffe
- Geschwindigkeitsbeschränkungen
- Flugtaxis

*Aktuelle Studien
anderer
parlamentarischer
TA-Einrichtungen*

Zu all diesen Themen liegen aktuelle Endberichte von TA-Einrichtungen aus Deutschland, Großbritannien, Norwegen und des Europäischen Parlaments vor.

1 EINLEITUNG

Ein kontinuierliches Monitoring aktueller oder sich für die Zukunft abzeichnender internationaler wissenschaftlicher und technologischer Entwicklungen im gesellschaftlichen Kontext (sozio-technische Trends) ist die Grundlage, um zentrale Zukunftsthemen für die österreichische Politik zu identifizieren. In so einem Verfahren werden zudem wichtige wissenschaftlich-technische Treiber für Veränderungen sichtbar, die dem Parlament bei frühzeitiger Berücksichtigung erweiterte Handlungs- und Gestaltungsmöglichkeiten eröffnen. Ein Monitoring ist damit zugleich die Grundlage für vertiefende Studien im Bereich Foresight und Technikfolgenabschätzung (FTA). Auf dieser Basis wird es für die Politik möglich, später aufkommende, spezifische und tagesaktuell drängende Fragen in breiteren Zukunftsthemen zu verorten und die jeweilige Relevanz schneller und vorausschauend zu beurteilen. Die Ergebnisse des Monitorings unterstützen damit nicht nur eine vorausschauende FTI-Politik, sondern dienen mit ihrer TA-Komponente auch der Maximierung positiver und zugleich der Minimierung möglicher negativer Technikfolgen und sind damit auch für andere Politikfelder hochrelevant. Die potenziellen Anwendungsfelder von Zukunftstechnologien sind mit hohen Erwartungen und vielfältigen Versprechen verbunden. Während der Umsetzung zeigt sich aber oft, dass mit diesen Technologien auch Effekte einhergehen, die zunächst nicht augenscheinlich sind. Demgegenüber setzt die Foresight-Komponente auf die Gestaltbarkeit von Innovationen: Werden die Potenziale von Zukunftstechnologien frühzeitig in ihrer Bandbreite analysiert, eröffnen sich Gestaltungsspielräume für nachhaltige Innovationspfade.

Eine verantwortungsvolle und zukunftsorientierte Technikentwicklung legt insbesondere den Fokus auf zwei Dimensionen, die beide mit Foresight und TA bearbeitbar sind:

- zum einen auf den Handlungsspielraum und die Bedingungen, unter denen aus wissenschaftlich-technischen Potenzialen tatsächlich wirtschaftlich und gesellschaftlich relevante Innovationen werden;
- zum anderen auf die möglichen Folgen sozio-technischer Entwicklungen in Hinblick auf Gesundheit, Umwelt, Wirtschaft, Recht und Gesellschaft.

*Identifikation
zentraler
Zukunftsthemen für die
österreichische Politik*

*Unterstützung der
FTI-Politik und
Umgang mit
Technikfolgen
(Chancen und Risiken)*

*Zwei Dimensionen
verantwortungsvoller
und
zukunftsorientierter
Technikentwicklung*

1.1 VORGANGSWEISE

Der Monitoring-Prozess wird in den folgenden Schritten durchgeführt:

1. *Quellenauswertung:* Es werden einerseits Datenbanken in den Bereichen TA, Foresight, Zukunftsforschung, Wissenschafts- und Technikforschung sowie weitere einschlägige Quellen nach den üblichen wissenschaftlichen Standards qualitativ ausgewertet (siehe Abschnitt 1.2). Andererseits kommen auch datenbasierte Tools zur Trendsuche in großen Dokumentenbeständen (insb. RS-Lynx und TIM/EU) zur Anwendung. Zwischenergebnis ist jeweils eine Liste sozio-technischer Entwicklungen, die international auf der Agenda stehen oder gerade neu Beachtung finden.
Quellenauswertung
2. *Themenselektion:*
 - a. *Basisanalyse:* Die Einträge in der Liste aus Schritt 1 werden in einem interdisziplinären, internationalen und interinstitutionellen Team (bestehend aus Wissenschaftler:innen des ITA-ÖAW) und des ITAS-KIT) analysiert und bewertet. Aus TA-Perspektive ist es besonders relevant, jene Themen zu identifizieren, die politischen Handlungsbedarf nach sich ziehen könnten. Das betrifft insbesondere sozio-technische Entwicklungen, die potenziell problematische Auswirkungen auf Gesundheit, Umwelt, Wirtschaft, Recht oder Gesellschaft haben, aber auch solche, deren Förderung zu positiven gesellschaftlichen Effekten führen können. Zwischenergebnis ist eine reduzierte Liste, die den nächsten Schritten unterworfen wird.
 - b. *Auswertung der parlamentarischen Agenda:* Beobachtung und Auswertung der bereits akkordierten und absehbaren Agenda des Parlaments für die folgenden 6–18 Monate.
 - c. *Relevanzprüfung:* Vor dem Hintergrund der mittelfristigen parlamentarischen Agenda (Schritt b) sowie unter Anwendung weiterer Kriterien, insb. Österreichbezug (siehe dazu Abschnitt 1.2), werden die identifizierten Themen einer Prüfung unterzogen, ob und in welcher Weise diese für das Parlament in absehbarer Zeit relevant werden könnten.
 - d. *Festlegung der zu bearbeitenden Themen:* Zwischenergebnis von Schritt c ist eine weiter eingeschränkte Liste von relevanten sozio-technischen Entwicklungen, die potenziell in den Monitoringbericht aufgenommen werden könnten. In einem interdisziplinären Workshop mit den im Prozess beteiligten Expert:innen wird die Liste multiperspektivisch bewertet, wobei hohe Relevanz und thematische Vielfalt des Monitoringberichts eine Rolle spielen. Insgesamt werden sechs Themen ausgewählt. Dabei spielt folgendes eine Rolle: die hohe Relevanz (Österreich & Parlament); der vorläufig festgestellte potenzielle Handlungsbedarf; inwieweit das Thema bereits untersucht scheint; ob die Entwicklungen als realistisch einzuschätzen sind; Vorhandensein bzw. Beginn einer wissenschaftlichen oder öffentlichen Debatte dazu.*Themenselektion*
3. *Recherche und Vertiefung:* Die Auswahl der Themen hat auf Basis einer vorläufigen Recherche stattgefunden. Im nächsten Schritt werden alle ausgewählten Themen vertiefend recherchiert.
4. *Finalisierung aller* Teile des Monitoringberichts in redaktioneller und formaler Hinsicht.

1.2 RELEVANZKRITERIEN

Ziel des Monitorings ist es, den österreichischen Abgeordneten einen Überblick über relevante wissenschaftliche und technische sowie damit verbundene gesellschaftliche Entwicklungen zu geben. Relevanz ist zentral und wird folgendermaßen präzisiert:

- Inhaltliche Relevanz:** Zentral sind die Zukunftsorientierung und damit die Antizipation von Entwicklungen, die das Potenzial haben, die gesellschaftliche Entwicklung zukünftig maßgeblich zu beeinflussen. Insbesondere sind jene Technologiefelder für das Monitoring ausschlaggebend, die Beiträge zur Lösung großer und komplexer gesellschaftlicher Herausforderungen bieten. Eine als relevant einzuschätzende Entwicklung verweist auf eine Technologie, deren Entwicklungsoptionen einen mittleren Zeithorizont von ungefähr einem Jahrzehnt haben (kürzer oder länger je nach Feld). Grundlagenforschung wird dann berücksichtigt, wenn sich ein kurz- bis mittelfristiger parlamentarischer Handlungsbedarf abzeichnet. Technologie wird hier in einem umfassenden Sinne verstanden, bezieht sich also auch auf neue Anwendungen bestehender Technologien sowie Dienstleistungsinnovationen und beinhaltet die Dimension „sozialer“ Innovationen, die möglicherweise sogar bewusst auf weniger Technologie oder Alternativen dazu setzen. Diese Präzisierung bezieht sich auch auf die mit diesen wissenschaftlichen und technischen Entwicklungen verbundenen gesellschaftlichen Entwicklungen. Fokus ist damit der Zusammenhang zwischen einerseits gesellschaftlichen, andererseits wissenschaftlichen und technischen Entwicklungen. Beide sind wechselseitig voneinander abhängig: Wissenschaftliche und technische Entwicklungen bestimmen gesellschaftliche Entwicklungen entscheidend mit, so wie gesellschaftliche die wissenschaftlichen und technischen Entwicklungen.
- Österreichbezug:** Das zweite Auswahlkriterium ist angesichts des Adressaten österreichisches Parlament, ein spezifischer Bezug zu Österreich. Entweder kann ein Thema relevant sein, weil es an spezifische Kompetenzen in Österreichs F&E-Landschaft und Wirtschaft anknüpft, oder es kann ein konkreter Handlungsbedarf in Österreich aufgrund der hiesigen Gegebenheiten (sozial, wirtschaftlich, geographisch, gesellschaftlich) absehbar sein.
- Parlamentsarbeit:** Drittens geht es darum, jene Entwicklungen aufzuzeigen, die für die Arbeit des Parlaments direkt relevant sind oder zukünftig von besonders hoher Relevanz sein werden, vor allem im Hinblick auf dessen Zuständigkeiten. Es werden insbesondere auch jene Entwicklungen bevorzugt in den Blick genommen, die politikfeldübergreifend sind, also konkret mehrere Ausschüsse bzw. das Parlament insgesamt betreffen. Neben den Themen, die auf der kurz- und mittelfristigen Agenda des Parlaments stehen, werden außerdem Themen als besonders relevant eingestuft, bei denen sich bereits in absehbarer Zukunft konkreter politischer Handlungsbedarf abzeichnet, der aber von anderen Akteuren (Verwaltung, Sozialpartner, Zivilgesellschaft) nicht bzw. noch nicht wahrgenommen wurde.

1.3 BASISQUELLEN FÜR DIESE BERICHTSVERSION

Aus dieser Bestimmung der parlamentarischen Relevanz ergeben sich die in das Monitoring einzubeziehenden Quellen und die bei der Analyse anzuwendenden Methoden. Mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen ist eine Primärerhebung zukünftiger wissenschaftlicher und technischer Entwicklungen (Patentanalyse, bibliographische Methoden, breit angelegte Befragungen von Schlüsselakteuren etc.) nicht realisierbar. Daher wird eine Sekundärauswertung bislang verstreuter, einschlägiger Quellen vorgenommen. Ausgehend von den oben erfolgten inhaltlichen Präzisierungen des Gegenstandes werden daher folgende Quellen in die Auswertung einbezogen:

Sekundärauswertung

- A.** *Auswahl wissenschaftlicher Fachzeitschriften*, insbesondere: Research Policy; Technological Forecasting and Social Change; Futures; foresight; Zeitschrift für Zukunftsforschung; proZukunft; European Journal of Futures Research; Futures Research Quarterly; World Futures Review; TATuP – Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis; Nature; Science; Scientific American; IEEE Spectrum.
- B.** *Proceedings von Konferenzen einschlägiger wissenschaftlicher Netzwerke*, insbesondere: European Forum for Studies of Policies for Research and Innovation" (Eu-SPRI Forum); Future-Oriented Technology Analysis (FTA); European Association for the Study of Science and Technology (EASST); The Society for Social Studies of Science (4S); Netzwerk Technikfolgenabschätzung (NTA); European Parliamentary Technology Assessment (EPTA); European Academies Science Advisory Council (EASAC); International Network of Government Science Advice (INGSA); Schweizerische Vereinigung für Zukunftsforschung (swissfuture); European Technology Assessment Conference (ETAC) and globalTA series.
- C.** *Zukunftstrends und Megatrends-Publikationen bekannter internationaler Akteure*, insbesondere: Meta-Council on Emerging Technologies (World Economic Forum); OECD Science, Technology and Innovation Outlook; MetaScan3 Emerging Technologies; Office for Science UK: Technology and Innovation Futures; EC-JRC Megatrends; Standardization Opportunities from Horizon Scanning der internat. Normungsinstitute; akatech; World Economic Forum, UNCTAD, ITU.
- D.** *TA- und Foresight-Datenbanken*, insbesondere: Projekt- und Publikationsdatenbank des EPTA-Netzwerks; Publikationsdatenbank des NTA openTA; die Open Repository Base on International Strategic Studies; Knowlege4policy-Plattform des EU-Kompetenzzentrums für Foresight; Statista, ESPAS-Orbis (European Strategy and Policy Analysis System).
- E.** *Informelle Quellen*, insbesondere: Wahrnehmungen & aktuelle Diskussionen der Teammitglieder in ihren einschlägigen Netzwerken; Erfahrungen aus Horizon-Scanning Projekten der Teammitglieder; Blogs, Websites, Newsletter (z. B. sciencemag.org, nature.com, SwissCognitive, OECD STI News, tech2b); Beobachtung einschlägiger Medienplattformen (z. B. TED-Talks, futurezone, APA Science, VDI-Publikationen¹); Beobachtung der EU-Ausschreibungen Horizon Europe.

¹ vdi.de/ueber-uns/presse/publikationen.

F. Quellen mit spezifischem Österreichbezug, insbesondere: Forschungs- und Technologiebericht der Bundesregierung; Laufende Ausschreibungen des BMVIT (Klima- und Energiefonds, Fabrik der Zukunft etc.); Austrian Cooperative Research (ACR) Innovationsradar.

Methodisch basiert die Auswertung der Quellen auf systematischer Dokumentenanalyse durch einschlägige Expert:innen des ITA (ÖAW) und des ITAS (KIT) sowie durch iterative, interdisziplinäre Diskussionen. Darüber hinaus kommen auch teil-automatisierte, KI-gestützte Auswertungen von digitalen Quellen zur Anwendung:

Methode

G. KI-gestützte quantitative Auswertung großer Textdatenmengen: In Ergänzung der qualitativen Quellenauswertung wird die Software RS-Lynx² verwendet, die auf Grundlage großer Mengen an webbasierten Informationsquellen mit Hilfe von Künstlicher Intelligenz Trends aufspüren kann. Weiters wird die Textmining-Plattform TIM Open Access³ der EU-Kommission eingesetzt.

Als spezifische Basisquellen für diese Berichtsversion dienten folgende Sekundärquellen:

- HTA-Horizon Scans
(Canada's Drug Agency, NIHR-Innovation Observatory UK)⁴
- Dubai Future Opportunities Report – The global 50 – 2024 Report⁵
- JRC: Eyes on the Future⁶
- GESDA – Science Breakthrough Radar 2024⁷
- NESTA – Weak signals 2025⁸
- Policy Horizons Canada⁹
- MIT 10 Breakthrough Technologies 2025¹⁰
- The Future Today Institute: 2024 Tech Trends Report¹¹
- Deloitte Tech Trends 2025¹²
- EDPS – Techsonar 2025¹³

**Für diesen Bericht
spezifisch
ausgewertete Quellen**

² radiosphere.de/medienmonitoring-plattform-rs-lynx/; Inhalte: Social Media, Presse (print/online), TV/Radio, Podcasts, PDFs (konfigurierbar).

³ knowledge4policy.ec.europa.eu/text-mining/tim oa_en; Inhalte: OA Publikationen/Semantic Scholar, weltweite Patentanträge/Patstat, FP5 bis Horizon Projekte (Cordis).

⁴ cda-amc.ca.

⁵ dubaifuture.ae/wp-content/uploads/2024/03/The-Global-50-2024-Eng.pdf.

⁶ data.europa.eu/doi/10.2760/7083666.

⁷ radar.gesda.global/2024-edition.

⁸ nesta.org.uk/feature/future-signals-2025.

⁹ horizons.gc.ca/en/our-work/.

¹⁰ technologyreview.com/2025/01/03/1109178/10-breakthrough-technologies-2025/.

¹¹ futuretodayinstitute.com/wp-content/uploads/2024/03/TR2024_Full-Report_FINAL_LINKED.pdf.

¹² deloitte.com/content/dam/assets-zone2/at/de/docs/industries/technology-media-telecommunications/2025/DI_Tech-trends-2025.pdf.

¹³ edps.europa.eu/system/files/2024-11/24-11-15_techsonar_2025_en.pdf.

2 AKTUELLE SOZIO-TECHNISCHE ENTWICKLUNGEN

Die folgenden sechs sozio-technischen Entwicklungen wurden im Berichtszeitraum November 2024 bis Mai 2025 als besonders relevante und aktuelle Themen für das Parlament und für Österreich identifiziert. Die Auswahl zeigt ein breites Spektrum an Themen mit weitreichenden sozialen, ökonomischen, politischen und ökologischen Auswirkungen. In all diesen Bereichen hat Österreich Kompetenzen vorzuweisen, die aus Sicht der Forschungs-, Innovations- und Technologiepolitik wirtschaftliche Entwicklungspotenziale darstellen. Zugleich zeigen diese sozio-technischen Entwicklungen neuen parlamentarischen Handlungsbedarf als auch parlamentarische Gestaltungsspielräume – jeweils in einem breiteren gesamtgesellschaftlichen Kontext.

*Berichtszeitraum
November 2024
bis Mai 2025*

Neue Themen Mai 2025

- Smarte Implantate
- Nicht-militärische Drohnenabwehr
- Humanoide Roboter
- Gesellschaftliche Folgen hybrider Arbeitsformen
- KI-Agenten
- Plastik und menschliche Gesundheit

6 neue Themen

Aktualisierte Themen Mai 2025

- Hirnorganoide
- Batteriesysteme der Zukunft
- Proteinwende – Alternative Eiweißquellen breitewirksam nutzen
- Wald: Brände und Wiederherstellung
- Gesundheitliche Folgen der Digitalisierung
- Kollaborative Industrieroboter

6 aktualisierte Themen

SMARTE IMPLANTATE



© CC0 (PublicDomainPictures/pixabay)

ZUSAMMENFASSUNG

Smarte neurotechnologische Implantate ermöglichen eine direkte Interaktion zwischen Nervensystem und Technik und vereinen Energieautarkie, bidirektionale Kommunikation und adaptive Steuerung. Sie verbessern etablierte Therapien wie die sog. Tiefe Hirn- oder die Vagusnervstimulation und bieten Potenzial für neue Anwendungen in Orthopädie, Prothetik und zur Behandlung chronischer Erkrankungen. Technische Herausforderungen bestehen u. a. hinsichtlich Langzeitstabilität und autonomer Steuerung; ethische in Bezug auf Autonomie, Identität und Datenschutz. Die Marktentwicklung ist durch hohe regulatorische Hürden und wirtschaftliche Risiken geprägt, insbesondere für Start-ups. Mit der weiteren Entwicklung und Verbreitung fortschrittlicher Implantate könnten sich Human Enhancement und Neuroabandonment, d. h. der Wegfall der Versorgung mit implantierter Medizintechnik durch die Hersteller (z. B. aufgrund von Insolvenz), als zunehmende Risiken erweisen. Ein breiter öffentlicher Diskurs über Nutzen und Risiken smarter Implantate wird empfohlen.

*Chancen und Risiken
smarter Implantate –
medizinischer
Fortschritt mit
ethischem und
regulatorischem
Klärungsbedarf*

ÜBERBLICK ZUM THEMA

Neurotechnologische Anwendungen ermöglichen über *Schnittstellen* eine direkte elektrische Interaktion zwischen Nervensignalen und maschinellen Systemen. Je nachdem, ob die Schnittstelle implantiert ist oder nicht, unterscheidet man zwischen invasiven und nicht-invasiven Systemen und – je nach Art der Interaktion – zwischen ableitenden und stimulierenden Systemen. Während nicht-invasive Systeme nur eine begrenzte Datenauflösung haben, ermöglichen implantierte Elektroden eine gezielte Signalübertragung bzw. -ableitung in das bzw. aus dem Nervensystem, was eine Vielzahl therapeutischer Möglichkeiten sowie auch die Option zur Kompensation körperlicher Einschränkungen eröffnet (z. B. Cochlea-Implantat bei Hörverlust, Steuerung von Prothesen).

*Invasive vs.
nicht-invasive
Neurotechnologie*

In den letzten Jahren wurden auf dem Gebiet der neuronalen Implantate große Fortschritte erzielt, wozu nicht nur die Miniaturisierung der Elektroden, sondern auch Fortschritte im Bereich der Materialwissenschaft, der Mikrosensorik sowie der KI-basierten Datenanalyse beigetragen haben. Alle diese Fortschritte haben zusammengekommen eine neue Klasse von Anwendungen ermöglicht, die als *smarte Implantate* bezeichnet werden können und drei Eigenschaften in sich vereinen: 1) Es handelt sich um aktive Implantate, die über eine eigene Energieversorgung verfügen, sodass sie ihre Funktion gewissermaßen autark erfüllen können. 2) Sie integrieren ableitende und stimulierende Funktionen (Closed-Loop) und können so diagnostische und therapeutische Fähigkeiten kombinieren. 3) Als „smart“ werden sie bezeichnet, weil sie über „intelligente“ Sensorfunktionen verfügen, die es ihnen ermöglichen, in Echtzeit auf Vitaldaten zu reagieren und die Stimulationsmuster automatisiert anzupassen.¹ Im Gegensatz zu herkömmlichen Implantaten erfüllen smarte Implantate also die ihnen zugedachte Funktion weitgehend selbsttätig und nicht nur innerhalb voreingestellter Parameter, was sie für verschiedene klinische Anwendungen hochinteressant macht.

*Smarte Implantate
verfügen über
autonome, adaptive
Funktionen*

So haben smarte Implantate das Potenzial, etablierte neurotechnologisch gestützte Behandlungsansätze substanzIELL zu verbessern. Dazu gehört zum einen die *Tiefe Hirnstimulation* (THS), die bereits seit Ende der 1990er-Jahre für die symptomatische Behandlung von Bewegungsstörungen (Parkinson-Krankheit, Dystonien und essentieller Tremor) und inzwischen auch bei schweren Fällen von Epilepsie, Zwangsstörungen und Depression eingesetzt wird. Bei der THS werden je nach Erkrankung Elektroden, die mit einem Pulsgenerator verbunden sind, in unterschiedliche Hirnregionen implantiert und geben dort stimulierende elektrische Impulse ab. Aufgrund der funktionellen Analogie zu einem Herzschrittmacher wird die THS auch als „Hirnenschrittmacher“ bezeichnet. Die herkömmlichen THS-Systeme verfügen nur über stimulierende Funktionen und geben ihre Impulse kontinuierlich ab, was sich zum einen teilweise als nicht besonders effektiv erwiesen hat und zum anderen mit Nebenwirkungen verbunden sein kann. Inzwischen sind für die Behandlung von Parkinson erste Geräte erhältlich (z. B. der Percept PC von Medtronic), die lokale Feldpotenziale aufzeichnen und ihre Stimulationsmuster in Reaktion darauf adaptiv anpassen können (Thenaisie et al., 2021).

*Anwendungspotenziale
und -perspektiven*

„Hirnenschrittmacher“

¹ atlas-digitale-gesundheitswirtschaft.de/blog/2020/03/20/intelligente-implantate/.

Eine ähnliche Weiterentwicklung gibt es bei der *Vagusnervstimulation* (VNS), einer seit 1994 etablierten Behandlungsmethode, die für Epilepsie und schwere Depression zugelassen ist und deren Wirksamkeit für andere Krankheitsbilder wie Angst- und Panikstörungen oder Adipositas untersucht wird (Goggins, Mitani, & Tanaka, 2022). Bei der invasiven VNS wird der linksseitige Vagusnerv, der für die Steuerung des vegetativen Nervensystems wichtig ist, mittels im Halsbereich angebrachter Elektroden direkt stimuliert. Neuere VNS-Systeme können automatisch eine Stimulation auslösen, wenn sich ein epileptischer Anfall ankündigt, wobei ein Anstieg der Herzfrequenz als kritischer Biomarker dient. Das Potenzial der adaptiven VNS wird auch für die Behandlung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen untersucht (Ottaviani, Vallone, Micera, & Recchia, 2022). Weitere mögliche Anwendungsfelder smarter Implantate, die sich derzeit noch im experimentellen Stadium befinden, sind die Orthopädie, die Behandlung chronischer Erkrankungen sowie die Prothetik:

- In der *Orthopädie* wird u. a. erforscht, inwieweit smarte Implantate die Knochenheilung unterstützen können, indem sie die Fraktur anhand verschiedener Parameter sensorisch überwachen und bei Bedarf den Heilungsprozess mittels aktiver Stimulation unterstützen (Ernst, Richards, & Windolf, 2021). So wurden in einem Forschungsprojekt z. B. Implantatplatten entwickelt, die sich eigenständig verformen können.²
- Ebenfalls noch Gegenstand der Forschung sind smarte Mikroimplantate, die mittels gezielter, adaptiver Elektrostimulation eine *Therapie chronischer Erkrankungen* wie Typ-2-Diabetes oder Bluthochdruck möglich machen sollen (Horn et al., 2019). In Anlehnung an Pharmazeutika werden solche Anwendungen auch als Elektrozeutika bezeichnet.³
- Im Bereich der *Prothetik* wird an Gliedmaßenprothesen gearbeitet, die mit Hilfe smarter Implantate der/dem Träger:in ein als natürlich empfundenes sensorisches Feedback geben können, was z. B. für die Feinsteuerung komplexer Handprothesen unerlässlich ist (Raspopovic et al., 2021). Dies soll dadurch erreicht werden, dass das Implantat die Informationen aus Drucksensoren der Prothese an das Nervensystem weiterleitet.

Die Entwicklung smarter Implantate ist mit verschiedenen technischen Herausforderungen verbunden. Ihre Funktion beruht auf der sensorischen Überwachung eines zu ermittelnden Biomarkers, der algorithmisch in Stimulationsmuster übersetzt wird. Dazu muss zum einen ein für die jeweilige Aufgabe geeigneter Biomarker gefunden werden, der auch sensorisch messbar ist. Zum anderen ist die Steuerung des Input-Output-Verhältnisses anspruchsvoll. Derzeit basieren die Algorithmen noch auf mechanistischen Modellen, zukünftig könnten diese Aufgabe selbstlernende KI-Modelle übernehmen (Eickhoff et al., 2023). Sensoreinheit, Energieversorgung⁴, Mikroprozessoren und Elektroden müssen zudem auf kleinstem Raum untergebracht werden. Ein Problem, das alle neuroelektrischen Implantate betrifft, ist die mangelnde Langzeitstabilität der Gewebe-Sensor-

*Behandlung
von Epilepsie*

*Anwendungen
in der Orthopädie ...*

*... Therapie
chronischer
Erkrankungen ...*

... und der Prothetik

*Technische
Herausforderungen:
algorithmische
Steuerung und
Langzeitstabilität*

² devicemed.de/smarte-implantate-foerderung-knochenheilung-a-97168f5e7d1daf2935763c6ba86ae764/.

³ medizin-und-technik.industrie.de/technik/forschung/elektrozeutika-sollen-helfen-chronische-krankheiten-ohne-medikamente-zu-behandeln/.

⁴ Das Laden des Implantats muss drahtlos erfolgen, was bspw. mittels Induktion oder Ultraschallwellen erfolgen kann.

Schnittstelle, die meist irgendwann aufgrund von Korrosion oder der Fremdkörperreaktionen des umgebenden Gewebes ihre Funktion verliert. Vielversprechende Ergebnisse wurden mit neuen biokompatiblen Materialien wie z. B. Hydrogelen erzielt, mit denen weiche statt starrer Implantate hergestellt werden können.

Smarte Implantate bringen neben technischen auch ethische Herausforderungen mit sich, die möglichst schon bei der Entwicklung berücksichtigt werden sollten. Sie betreffen insbesondere neuromodulierende Implantate, die ihre Wirkung im oder nahe am Gehirn entfalten (z. B. THS). Solche Anwendungen können Auswirkungen auf das Bewusstsein und die Psyche bis hin zu Persönlichkeitsveränderungen haben (Aggarwal & Chugh, 2020). Wenn nun die Stimulationsmuster durch das Implantat automatisiert angepasst werden, könnte dies tiefgreifende Auswirkungen auf das Autonomie- bzw. Identitätsempfinden der Patient:innen haben. Hinzu kommen Herausforderungen hinsichtlich der gewissermaßen intimsten Privatsphäre, da die Funktionsweise dieser Implantate die Messung und Speicherung neuronaler Daten voraussetzt (s. *Neurorechte*). Mit Blick auf Datensicherheit und Datenschutz gilt jedoch insgesamt, dass smarte Implantate zwar einerseits die Abhängigkeit vom Hersteller und seinen Regelstrategien erhöhen, andererseits aber die Notwendigkeit der Weitergabe von persönlichen Daten und Messwerten grundsätzlich eher reduzieren, da diese in der Regel nur lokal verarbeitet werden. Aufgrund der Komplexität der Implantation und der damit verbundenen Operationsrisiken dürfte die nicht-medizinische Anwendung intelligenter Implantate, z. B. im Sinne eines Human Enhancements (s. *Cyborg*), noch länger ein Zukunftsthema bleiben. Dennoch ist es wichtig, die Entwicklung im vor- und nicht-medizinischen Bereich im Auge zu behalten, da insbesondere US-amerikanische Unternehmen wie Neuralink von Elon Musk vorgeblich an neurotechnologischen Anwendungen für nicht-klinische Zwecke arbeiten (Kostick-Quenet et al., 2022).

Bei medizinischen Anwendungen müssen die Risiken gegen den klinischen Nutzen abgewogen werden, was durch die gesetzlichen Zulassungsbedingungen sichergestellt werden soll. In der EU gilt seit 2021 die Medizinprodukteverordnung (MDR). Intelligente Implantate gehören zu den Hochrisikoprodukten, für die strenge Anforderungen an die klinische Bewertung und klinische Prüfung gelten. Entwicklung und Zulassung sind entsprechend langwierige und anspruchsvolle Prozesse, die für die Hersteller mit höheren wirtschaftlichen Risiken verbunden sind, zumal die Anwendungen häufig nur für kleinere Patient:innengruppen in Frage kommen. Wenn Start-ups und Hersteller entweder als Unternehmen oder mit ihrem Produkt am Markt scheitern, bergen smarte Implantatebrisante Risiken. Gemeint sind Fälle, in denen die Versorgung mit implantierter Medizintechnik sowohl für die Patient:innen als direkt Betroffene als auch für die behandelnden Kliniker:innen seitens der Hersteller wegbricht. Für grundlegende Fragen wie Wartung, Kalibrierung und Reparatur, für notwendige Software-Updates und Serviceleistungen gibt es dann keine Ansprechpartner mehr (sog. „Abandonment“, deutsch „Im-Stich-Lassen“). Als Lösung bleibt meist nur die Entfernung bzw. Explantation der irgendwann nicht mehr funktionsfähigen Hardware, was für die Patient:innen mit zusätzlichen operativen Risiken und u. U. finanziellem Aufwand verbunden ist – ganz abgesehen davon, dass sie nun

Ethische Herausforderungen u. a.:

Patient:innen-autonomie

Datenschutz

Zukünftig Human Enhancement

Smarte Implantate sind Hochrisikoprodukte

Schwierige wirtschaftliche Rahmenbedingungen bergen neue Risiken

„Abandonment“-Problematik

wieder ohne Lösung für ihre Krankheitssymptome dastehen.⁵ Das Problem verschärft sich bei spezialisierten, innovativen Anwendungen, die sich nur an eine kleine Gruppe von Patient:innen richten. Im Gegensatz zu verbreiteten Massenanwendungen (wie Insulinpumpen oder Herzschrittmachern) gibt es bei diesen Nischenprodukten oft nur einen Hersteller, von dem die Nutzer:innen abhängig sind. Die Abandonment-Problematik dürfte mit den Fortschritten im Bereich smarter Implantate an Brisanz gewinnen, was Herausforderungen an die Risikoaufklärung der Patient:innen sowie an die nachhaltige Gestaltung unternehmerischer Geschäftsmodelle stellt. Nicht zuletzt gilt es, systemische Lösungen – etwa im Bereich der Dokumentation und Datennutzung, der Schaffung institutioneller Nachsorgeangebote – zu entwickeln, um proaktiv Abhilfe zu schaffen. Festzuhalten bleibt aktuell, dass Fälle des „neurological device abandonment“ (Okun et al., 2024), des ungeplanten Verbleibens von Neuromedizintechnik im Körper von Patient:innen, drastische Beispiele dafür sind, wie sich eine zwischenzeitliche Behandlung, ein therapeutischer, rehabilitativer oder unterstützender Nutzen, der durch Technologie erzielt wurde, zu einer zusätzlichen Bürde für ohnehin vulnerable Personen und soziale Gruppen werden kann.

RELEVANZ DES THEMAS FÜR DAS PARLAMENT UND FÜR ÖSTERREICH

In Österreich gibt es mit dem Zentrum für Medizinische Physik und Biomedizinische Technik der Medizinischen Universität Wien⁶ ein namhaftes Forschungsinstitut, das sich anwendungsorientiert mit Themen im Bereich „neural engineering“ und smarte Implantate beschäftigt. Daneben verfügt das Land über einen international wettbewerbsfähigen Medizinproduktektor, der 626 Unternehmen mit einem Gesamtumsatz von rund 19 Mrd. Euro umfasst.⁷ Da die Zulassung von Medizinprodukten auf EU-Ebene einheitlich geregelt wurde, besteht diesbezüglich kein regulatorischer Handlungsbedarf. Im Jahr 2023 hat die in Wien beheimatete QMD Services GmbH die Zulassung als europäische Konformitätsbewertungsstelle erhalten, was den Marktzugang für heimische Unternehmen erleichtert. Aufgrund der gestiegenen Zulassungsanforderungen braucht es jedoch Maßnahmen wie Förderprogramme oder Beratung, um insbesondere Start-ups und KMUs bei der Entwicklung fortschrittlicher Implantate zu unterstützen. Darüber hinaus bedarf es ergänzender Maßnahmen, um das Innovationssystem zu stärken und unter Einbeziehung der wichtigsten Akteure Empfehlungen für Umgang mit der Abandonment-Problematik zu entwickeln.

*Österreichische
Player*

*Kein regulatoriver
Bedarf*

*Gezielte Förderung und
Beratung erforderlich*

*Umgang mit der
Abandonment-
Problematik*

⁵ nature.com/immersive/d41586-022-03810-5/index.html.

⁶ mpbmt.meduniwien.ac.at.

⁷ oegbmt.at/fileadmin/documents/veroeffentlichungen/Dossier_2023_v5-0.pdf.

VORSCHLAG WEITERES VORGEHEN

Angesichts der zukünftigen Herausforderungen sowohl eines Neuroabandonment als auch eines Human Enhancement bedarf es einer umfassenden Bewertung der ethischen, rechtlichen, soziokulturellen und nicht zuletzt ökonomischen Implikationen smarter Implantate sowie der Geschäftsmodelle ihrer Entwickler und Anbieter. Die Ergebnisse, wie der Lebenszyklus einzelner Anwendungen verantwortungsvoll und das gesamte österreichische Ökosystem für smarte Implantate resilient gestaltet werden kann, sollten in einen öffentlichen Diskurs über die Risiken und Chancen dieser fortschrittlichen Technologien kanalisiert werden und insbesondere potenziell Betroffene und Stakeholder adressieren.

*Bewertung von
Implikationen und
Geschäftsmodellen
sowie öffentlicher
Diskurs*

ZITIERTE LITERATUR

Aggarwal, S., & Chugh, N. (2020). Ethical Implications of Closed Loop Brain Device: 10-Year Review. *Minds and Machines*, 30(1), 145–170.
doi.org/10.1007/s11023-020-09518-7.

Eickhoff, S., Garcia-Agundez, A., Haidar, D., Zaidat, B., Adjei-Mosi, M., Li, P., & Eickhoff, C. (2023). A feasibility study on AI-controlled closed-loop electrical stimulation implants. *Scientific Reports*, 13(1), 10163.
doi.org/10.1038/s41598-023-36384-x.

Ernst, M., Richards, R. G., & Windolf, M. (2021). Smart implants in fracture care – only buzzword or real opportunity? *Injury*, 52, S101–S105.
doi.org/10.1016/j.injury.2020.09.026.

Goggins, E., Mitani, S., & Tanaka, S. (2022). Clinical perspectives on vagus nerve stimulation: Present and future. *Clinical Science*, 136(9), 695–709.
doi.org/10.1042/CS20210507.

Horn, C. C., Ardell, J. L., & Fisher, L. E. (2019). Electroceutical Targeting of the Autonomic Nervous System. *Physiology*, 34(2), 150–162.
doi.org/10.1152/physiol.00030.2018.

Kostick-Quenet, K., Kalwani, L., Koenig, B., Torgerson, L., Sanchez, C., Munoz, K., ... Lazaro-Munoz, G. (2022). Researchers' Ethical Concerns About Using Adaptive Deep Brain Stimulation for Enhancement. *Frontiers in Human Neuroscience*, 16, 813922. doi.org/10.3389/fnhum.2022.813922.

Okun, M. S., Marjenin, T., Ekanayake, J., Gilbert, F., Doherty, S. P., Pilkington, J., ... Giordano, J. (2024). Definition of Implanted Neurological Device Abandonment: A Systematic Review and Consensus Statement. *JAMA Network Open*, 7(4), e248654. doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2024.8654.

Ottaviani, M. M., Vallone, F., Micera, S., & Recchia, F. A. (2022). Closed-Loop Vagus Nerve Stimulation for the Treatment of Cardiovascular Diseases: State of the Art and Future Directions. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 9.
doi.org/10.3389/fcvm.2022.866957.

Raspopovic, S., Valle, G., & Petrini, F. M. (2021). Sensory feedback for limb prostheses in amputees. *Nature Materials*, 20(7), 925–939.
doi.org/10.1038/s41563-021-00966-9.

Thenaisie, Y., Palmisano, C., Canessa, A., Keulen, B. J., Capetian, P., Jiménez, M. C., ... Zutt, R. (2021). Towards adaptive deep brain stimulation: Clinical and technical notes on a novel commercial device for chronic brain sensing. *Journal of neural engineering*, 18(4), 042002. doi.org/10.1088/1741-2552/ac1d5b.

NICHT-MILITÄRISCHE DROHNENABWEHR



© CC0 (PublicDomainPictures/pxels)

ZUSAMMENFASSUNG

Die rasante Entwicklung der Drohnentechnologie hat zu zivilen Anwendungen in Bereichen wie Forschung, Logistik und Sicherheit geführt. Unbemannte Luftfahrzeuge (UAVs) werden zunehmend auch in der Landwirtschaft, Logistik oder zur Freizeitgestaltung eingesetzt. Sie spielen aber auch eine entscheidende Rolle in der modernen Kriegsführung. Diese Verbreitung wirft Sicherheitsbedenken auf, da Drohnen für Spionage und terroristische Aktivitäten missbraucht werden können. Technologien zur Erkennung und Neutralisierung von Drohnen sind unerlässlich, um diese Risiken zu mindern. In Österreich ist der zivile Drohnenbetrieb durch EU-Richtlinien geregelt und wird von mehreren staatlichen Stellen überwacht. Ein kontinuierliches Monitoring der technischen Entwicklungen ist unerlässlich, um den sich ständig weiterentwickelnden Herausforderungen der UAV-Technologie gerecht zu werden.

ÜBERBLICK ZUM THEMA

Umgangssprachlich wird der Begriff „Drohne“ für militärisch oder kommerziell genutzte, unbemannte Luftfahrzeuge verwendet. In der wissenschaftlichen Praxis hat sich die Bezeichnung „Unmanned aerial vehicle“ (UAV) etabliert. Im zivilen Kontext werden UAVs u. a. in der Forschung, Logistik (siehe *Lieferdrohnen*), Landwirtschaft, Forstwirtschaft sowie durch Sicherheitsunternehmen, von verschiedenen Behörden (z. B. Polizei und Feuerwehr, siehe *Sicherheits-Robotik*, *Waldbrände*) und als Freizeitbeschäftigung genutzt. Speziell „Commercial off the shelf“ (COTS) UAV-Systeme und -Komponenten haben eine breite Verwendung gefunden. Die verfügbaren Modelle mit HD/4K/8K-Kamera, GPS-Steuerung und einer Signalreichweite von bis zu neun Kilometern, sowie einer Flugzeit von bis zu 40 Minuten werden in einer Preisspanne von ca. 100 € bis 4.000 € angeboten. Auch handelsübliche Drohnen verfügen inzwischen über weitreichende Autonomiefähigkeiten – wobei Flüge ohne Sichtkontakt von Privaten ohne Lizenz nicht zulässig sind. Ein Autopilot sorgt meist dafür, dass das Luftfahrzeug stabilisiert wird, und steuert die Ausrichtung, Position und Geschwindigkeit der Drohne. Überdies können autonome Systeme dafür sorgen, dass das UAV bei einem Ausfall der Kommunikation selbstständig den Weg zurück zur Basis findet oder sicher landet. Bei vollautonomen UAVs müssen schließlich nur mehr verschiedene Parameter vorgegeben werden, damit die Drohne die gestellte Aufgabe selbstständig erfüllt.

Drohnen entwickeln und verbreiten sich rasch, auch im zivilen Bereich

Durch den vermehrten Einsatz von UAVs entstehen unweigerlich neue Herausforderungen für die zivile Sicherheit (Del Re, et al., 2024). Unfälle oder Gesetzesüberschreitungen mit UAVs passieren nicht selten unabsichtlich. Oft können diese Vorfälle gravierende Folgen haben. Beispielsweise verursachten in der Nähe von Flughäfen fliegende Drohnen schon mehrmals Flugausfälle, die Millionenschäden nach sich trugen. Viele COTS-UAVs verfügen daher über Systeme, die Flugverbotszonen automatisch erkennen und entweder den Piloten warnen oder die Drohne daran hindern, in diese Zonen einzufliegen. Bei intentionalem Missbrauch von UAV-Technologien helfen solche Systeme aber wenig. Da das System mit GPS arbeitet, lässt es sich einfach umgehen, beispielsweise indem man die GPS-Erkennung des UAVs deaktiviert. Durch die Kombination mit anderen Technologien können Drohnen zudem mit neuen schädlichen Funktionalitäten ausgestattet werden, das Missbrauchspotenzial ist somit sehr hoch. Einige bemerkenswerte Innovationen durch Privatpersonen sind unter anderem die Modifizierung einer Drohne zur Sammlung von Daten oder zur Bewaffnung. Ausprobiert wurde das Abfeuern einer Handfeuerwaffe oder eines Flammenwerfers, die an einer Drohne befestigt wurden. Zudem wurden Spraydosen an Drohnen angebracht, um großflächig Werbeplakate zu besprühen (Rassler, 2016).

Das Missbrauchspotenzial von Drohnen ist im zivilen Bereich sehr hoch

Drohnen werden zunehmend zur Spionage eingesetzt, wie verschiedene Vorfälle zeigen. Mit videofähigen UAVs können kritische Infrastrukturen, Personen oder Organisationen ausgespäht werden, um das erbeutete Bild- und/oder Videomaterial für private, wirtschaftliche oder strategische Zwecke auszunutzen. UAVs können zusätzlich zu den Kameras mit anderen komplexen Sensoren ausgestattet sein und so sensible Informationen, wie z. B. Telekommunikationsdaten, stehlen. In den letzten Jahren wurden in Deutschland mehrfach militärische Einrichtungen und Firmengelände durch Drohnen ausgespäht, das genaue Ausmaß ist un-

Spionage

bekannt.¹ Andere Vorfälle demonstrieren das Potenzial, Drohnen für terroristische Zwecke einzusetzen. So ließ Greenpeace 2018 zwei UAVs in ein französisches AKW abstürzen, um die Anfälligkeit von Atomkraftwerken für terroristische Angriffe zu demonstrieren. Im Jahr 2015 warf eine kleines UAV ein Paket mit radioaktivem Sand auf das Dach des Büros des japanischen Premierministers und protestierte damit gegen die Atomenergiepolitik der japanischen Regierung (Fries, et al., 2016). Expert:innen erwarten eine deutliche Zunahme solcher Bedrohungen (Rassler & Veilleux-Lepage, 2024). Die Möglichkeit der dezentralen Fertigung (3D-Druck) sowie die Möglichkeit, UAVs vor Ort zu produzieren und Reparaturen durchzuführen, können die Verfügbarkeit und Effizienz für bös-willige Akteure weiter erhöhen. Ein weiteres Risiko besteht in der Rekombination von UAV mit anderen emergierenden Technologien. Drohnen könnten in Zukunft auch für High-Tech-Innovationen verwendet werden. Technologien wie Gesichtserkennung, LLM/KI, Autonomie/Robotik, Nanosprenzstoffe, Energiewaffen, verbesserte Rechenleistung und Data-Mining erhöhen das Potenzial für bislang nicht bekannte Einsatzmöglichkeiten (Rassler, 2016; Rassler & Veilleux-Lepage, 2024).

Die rasante Entwicklung der Dronentechnologie macht eine effektive Dronenabwehr zu einem technologischen Wettlauf. Anti-Drohnen-Systeme benötigen zum einen moderne Erkennungssysteme, die Drohnen rechtzeitig identifizieren können, bevor sie eine Gefahr darstellen. Zum anderen müssen die identifizierten Drohnen anschließend mit geeigneten Methoden unschädlich gemacht werden. Erkennungssysteme stützen sich auf verschiedene Sensoren wie Radar, optische Sensoren, Infrarotsensoren, akustische Detektoren und sogar Radiofrequenzanalyse (Park, et al., 2021). Das Aufspüren kleiner Drohnen stellt besonders hohe Ansprüche an die Sensorik. Millimeterwellen-Radar eignet sich gut für die Erkennung von Kleinstdrohnen auf große Entfernung.² Zur Anwendung kommt auch die Analyse von Frequenzbändern (z. B. Wi-Fi, Bluetooth) oder Funkfrequenzen, die von Drohnen zur Kommunikation genutzt werden. Andere Systeme verarbeiten Videobilder oder Wärmebilder, um bewegende Objekte in der Luft zu erkennen, indem per Software verdächtige Bewegungsmuster erkannt werden können. Detektionssysteme müssen in Echtzeit arbeiten, vornehmlich in Hochsicherheitsumgebungen, um auf Bedrohungen zu reagieren, bevor sie gefährlich werden. Moderne Systeme verwenden KI-gesteuerte Algorithmen, um Bedrohungen schneller zu erkennen und Entscheidungen zu treffen.

Bei der Dronen-Neutralisierung unterscheidet man zwischen *weichen* Maßnahmen, bei denen die Drohne zur Landung gezwungen wird, und *harten* Maßnahmen, bei denen die Drohne physisch abgefangen oder abgeschossen wird. Letztere umfassen sowohl Hightech- als auch Lowtech-Lösungen (Park et al., 2021). Zu den fortschrittlichsten Technologien gehören mit Mikroraketen ausgestattete Anti-Drohnen-Drohnen³ sowie Directed Energy Weapons (DEWs). Hochenergielaser (HELs) zeichnen sich als besonders kostengünstige Lösung aus, die Drohnen durch fokussierte Strahlenerwärmung zu einem Preis von etwa einem US-

*Anti-Drohnen-Systeme
benötigen moderne
Erkennungssysteme*

*Harte oder weiche,
High- oder Low-Tech-
Maßnahmen:*

- Hochenergielaser

¹ correctiv.org/hybride-kriegsfuehrung/2025/02/18/spionage-drohnen-ueber-deutschland.

² fhr.fraunhofer.de/de/bereiche/Industrielle-Hochfrequenzsysteme-IHS/kleindrohnen-detection-mit-millimeterwellenradar.html.

³ derstandard.at/adbblockwall/story/3000000263216/airbus-stellt-eine-europaeische-anti-drohnen-drohne-mit-mikroraketen-vor?ref=niewidget.

Dollar pro Schuss deaktivieren können. Einfachere Abfanglösungen sind Netze, der Einsatz von Kamikazdrohnen und verschiedene projektilbasierte Maßnahmen. Bei den weichen Maßnahmen wurden mehrere ausgeklügelte elektronische Lösungen entwickelt, um unbefugte Droheneinsätze zu unterbinden. Diese versammeln sich unter dem Stichwort „Jamming“. Hochleistungsmikrowellen (HPM), die elektromagnetische Impulse erzeugen, sind speziell darauf ausgelegt, die Elektronik von Drohnen zu stören, und erweisen sich als besonders wirksam gegen koordinierte Drohnenschwermangriffe. Hochfrequenzstörer (RF) senden gezielt Hochfrequenzenergie aus, um die Kommunikationsverbindungen zwischen Drohnen und ihren Steuerungen zu unterbrechen, während GPS-Spoofing-Technologien falsche Navigationssignale senden, um die Leitsysteme von Drohnen in die Irre zu führen. Am beeindruckendsten ist vielleicht, dass Cyber-Übernahmesysteme entwickelt wurden, die es Behörden ermöglichen, die vollständige Kontrolle über UAVs zu erlangen, indem sie deren Kommunikationsinfrastruktur ins Visier nehmen.

Bei der nichtmilitärischen Abwehr von Drohnen werden weiche Maßnahmen gegenüber harten in der Regel bevorzugt, um Kollateralschäden durch abstürzende Drohnen zu vermeiden. Die Frage, welche Systeme am besten geeignet sind, ist nicht zuletzt auch eine Kostenfrage. Militärische Anwendungen von Drohnenabwehrsystemen haben mehrere fortschrittliche Funktionen integriert, die sie für zivile Anwendungen in der Regel zu anspruchsvoll und kostspielig machen. Der kommerzielle Markt für Lösungen zur Drohnenabwehr hat ein bemerkenswertes Wachstum verzeichnet und mehrere Unternehmen, auch aus Österreich, bieten Abwehrsysteme für den zivilen Bereich an. Beim Großen Preis von Österreich der Formel 1 wurde etwa das AARTOS-Drohnenerkennungssystem eingesetzt, um Zuschauer, Fahrer und Crews vor dem illegalen Einsatz von Drohnen zu schützen.⁴ Das System, das von einer mobilen Einheit aus bedient wurde, erkannte und kontrollierte erfolgreich nicht autorisierte Drohnen. Zum Schutz der rund 250.000 Zuschauer bei der Airpower24-Flugschau in Zeltweg setzte das Österreichische Bundesheer in Zusammenarbeit mit AARONIA Austria Drohnenabwehrstrategien um.

Wie die Sicherheitsbehörden mit der zunehmenden Zahl von unidentifizierten Drohnen unklarer Herkunft über kritischen Infrastrukturen und militärischen Einrichtungen umzugehen haben, ist nicht zuletzt eine schwierige organisatorische und rechtliche Frage. Ob Privatpersonen Drohnen abschießen dürfen, ist nicht eindeutig geregelt und hängt z. B. von der Verletzung von Persönlichkeitsrechten und der Verhältnismäßigkeit der Mittel ab.⁵ Das Aufstellen von Störsendern (Jamming) ist hingegen in Österreich nur Sicherheitsbehörden vorbehalten.⁶ Die EU-Kommission hat 2023 eine umfassende Strategie zur Abwehr potenzieller Bedrohungen durch zivile Drohnen vorgestellt, mit der sichergestellt werden soll, dass die rasanten technischen Entwicklungen und die wachsende Zahl von Drohnen nicht zu einer unkontrollierten Zunahme der Bedrohungen im zivilen Raum füh-

- *Netze*
- *Kamikazdrohnen*
- *Projektile*
- *Jamming*
- *Übernahme der Kommunikation*

*Abwehr
nicht-militärischer
Drohnen als
kommerziell
erfolgreicher Markt*

*Zu klären sind
schwierige rechtliche
und organisatorische
Fragen*

⁴ drone-detection-system.com/news/austrian-grand-prix-aaronias-high-speed-drone-detection-system-aartos-supports-security-teams-during-formula-1-weekend-in-spielberg/.

⁵ wienrecht.at/?view=article&id=430:darf-man-drohnen-abschiessen&catid=15.

⁶ industriemagazin.at/fuehren/industriespionage-ist-die-drohnenabwehr-rechtlich-gedeckt/.

ren.⁷ Die konkreten Zuständigkeiten für den Schutz von Einrichtungen und der Bevölkerung sowie der Umgang mit Entscheidungsdilemmata (z. B. Inkaufnahme von Kollateralschäden bei unidentifizierten Drohnen) gilt es national zu regeln.

RELEVANZ DES THEMAS FÜR DAS PARLAMENT UND FÜR ÖSTERREICH

Die Anzahl privat und gewerblich genutzter Drohnen nimmt in Österreich stark zu – bis 2023 wurden bereits über 70.000 Drohnenführerscheine ausgestellt.⁸ Gemäß der EU-Drohnen-Verordnung können die Mitgliedsstaaten Flugverbotszonen, beispielsweise für Flughäfen oder militärische Einrichtungen, festlegen.⁹ Die Verantwortung für die Abwehr und Kontrolle von Drohnen ist in Österreich auf mehrere Regierungsstellen verteilt. Auf operativer Ebene ist die *Austro Control GmbH* die wichtigste untergeordnete Zivilluftfahrtbehörde Österreichs, die für die Sicherheit und Gefahrenabwehr in der Zivilluftfahrt zuständig ist und gleichzeitig Drohnenvorschriften umsetzt. Wenn Vorfälle auftreten, müssen diese zunächst dem Such- und Rettungszentrum von Austro Control gemeldet werden, das diese Meldungen dann an die Sicherheitsuntersuchungsstelle (SUB) weiterleitet. Die SUB, die mit der Untersuchung von Vorfällen im Zusammenhang mit Drohnen betraut ist, bewertet jeden Fall und entscheidet, ob eine vollständige Untersuchung erforderlich ist. Die praktische Umsetzung der Drohnenabwehr, insbesondere in städtischen Gebieten und bei öffentlichen Veranstaltungen, obliegt den Sicherheitsbehörden wie Bundes- oder Landespolizei und zum Teil auch der Direktion für Staatsschutz und Nachrichtendienst (DSN). Unter welchen Bedingungen auch Privatpersonen bzw. -unternehmen Drohnen bekämpfen können (und mit welchen Mitteln), ist rechtlich nicht eindeutig geregelt.

*Umgang mit Drohnen
im Luftraum durch
EU- Recht geregelt –
nationale
Sonderregelungen
sind möglich*

VORSCHLAG WEITERES VORGEHEN

Angesichts der kontinuierlichen Weiterentwicklung von Drohnentechnologie und der Funktionalität für z. T. auch böswillige Zwecke, kommen Organisationen mit Sicherheitsaufgaben nicht umhin, ein permanentes Technologiemonitoring zu organisieren. Zudem müssen organisatorische Zuständigkeiten, Regelungen und Leitlinien für Dronenerkennung und -abwehr definiert, fortlaufend weiterentwickelt und letztlich auch durchgesetzt werden. Es ist aus heutiger Sicht unklar, welche High- oder Low-Tech-Innovationen durch die Rekombination unterschiedlicher Technologien für die zivile Sicherheit zur Bedrohung werden können. Vor allem die Kreativität zur permanenten Suche nach einem technischen Vorteil in der Kriegsführung, wie aktuell in der Ukraine zu beobachten, erhöht die Wahrscheinlichkeit der baldigen Verfügbarkeit und Einsetzbarkeit unerwünschter Drohnenfunktionalitäten. Eine TA-Studie könnte erheben, welche Missbrauchsrisiken sich durch Fortschritte in der Drohnentechnologie ergeben, und die ver-

*Zum Schutz der
Bevölkerung muss
die Entwicklung der
Drohnentechnologie
kontinuierlich
beobachtet und
bewertet werden*

⁷ eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52023DC0659.

⁸ austrocontrol.at/unternehmen/medien/presse_news/detail/austro_control_dronespace_neu_drohnen-verkehrsmanagement_fuer_oesterreich_ist_startklar_1.

⁹ oesterreich.gv.at/themen/reisen_und_freizeit/Drohnen/EU-Regelungen-f%C3%BCr-Drohnen-im-%C3%9Cberblick.html.

fügbaren Abwehrtechnologien mit ihren Vor- und Nachteilen kartieren. Dabei wären auch Kostenaspekte sowie die speziellen Herausforderungen der Situation in Österreich herauszuarbeiten.

ZITIERTE LITERATUR

Del Re, A., et al. (Hrsg.) (2024). *Unbemannte Luftfahrtsysteme: Zivile Drohnen im Spannungsfeld von Wirtschaft, Recht, Sicherheit und gesellschaftlicher Akzeptanz*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
doi.org/10.1007/978-3-658-43719-0.

Friese, L., Jenzen-Jones, N. R., & Smallwood, M. (2016). *Emerging unmanned threats: The use of commercially-available UAVs by armed non-state actors*.

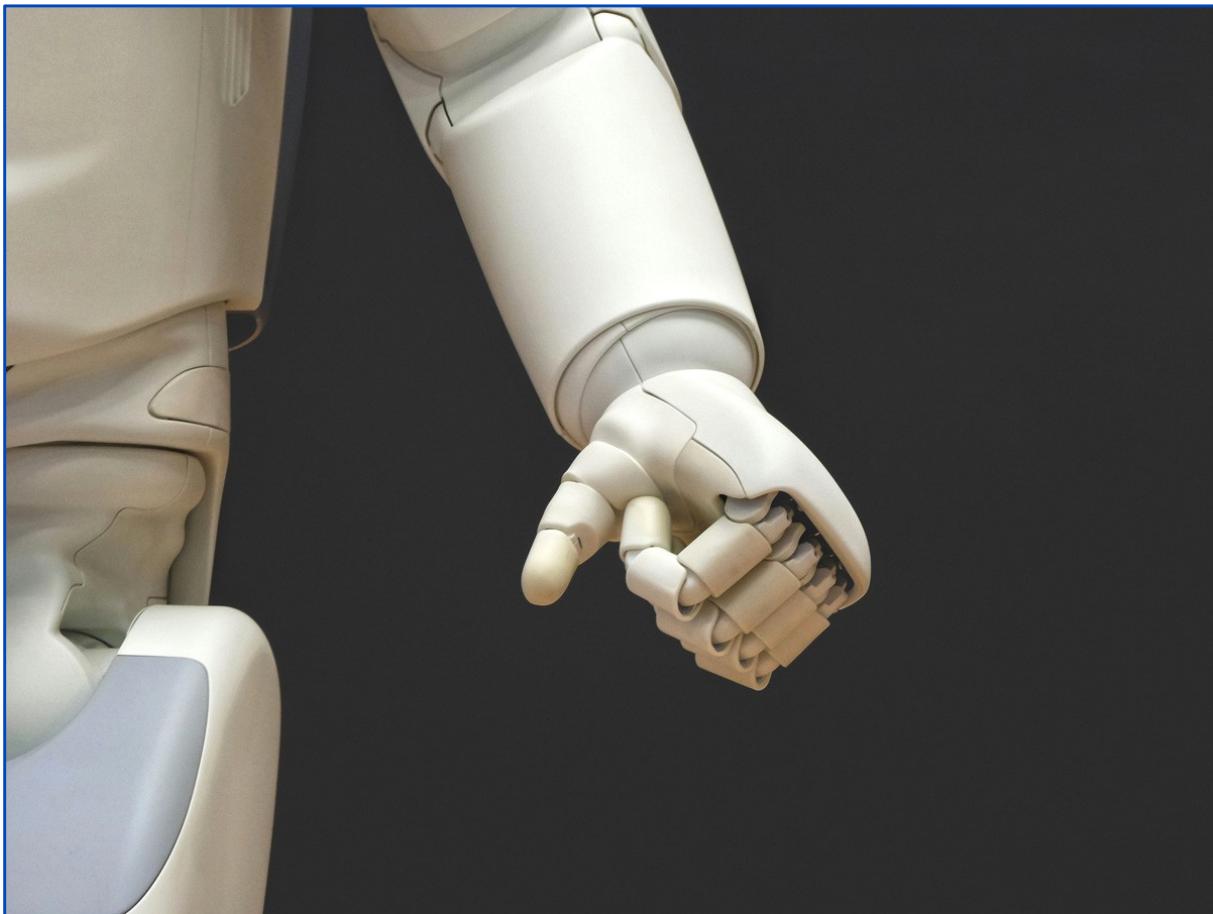
Lonstein, W. D. (2020). *C-UAS Regulation, Legislation, & Litigation from a Global Perspective*. kstatelibraries.pressbooks.pub/counterunmannedaircraft/chapter/chapter-12-global-perspective-whats-legal-where-trends-gaps-covers-discuss-chinese-iranian-and-russian-c-uas-lonstein/.

Park, S., et al. (2021). Survey on Anti-Drone Systems: Components, Designs, and Challenges. *IEEE Access*, 9, 42635–59.
doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3065926.

Rassler, D. (2016). *Remotely Piloted Innovation: Terrorism, Drones and Supportive Technology*. West Point: Combating Terrorism Center.
[govinfo.gov/content/pkg/GOVPUB-D109-PURL-gpo182659.pdf](https://govinfo.gov/content/pkg/GOVPUB-D109-PURL-gpo182659/pdf/GOVPUB-D109-PURL-gpo182659.pdf).

Rassler, D., & Veilleux-Lepage, Y. (2024). The paradox of progress: How 'disruptive,' 'dual-use,' 'democratized,' and 'diffused' technologies shape terrorist innovation. *TATuP – Journal for Technology Assessment in Theory and Practice*, 33(2), 22–28. doi.org/10.14512/tatup.33.2.22.

HUMANOIDE ROBOTER



© CC0 (Possessed Photography/unsplash)

ZUSAMMENFASSUNG

Bislang spielten humanoide Roboteranwendungen vor allem in der Science-Fiction eine prominente Rolle, auf dem Markt konnten sie sich noch nicht durchsetzen. Inzwischen könnten sie jedoch vor dem Durchbruch stehen. Verantwortlich dafür sind u. a. Fortschritte in der künstlichen Intelligenz, in Form von sogenannten multimodalen Sprachmodellen, die Bild-, Sprach- und Sensordaten verarbeiten können. Trotz anhaltender Schwierigkeiten bei der Entwicklung und Produktion bieten humanoide Roboter ein beträchtliches Potenzial für den Einsatz in vielen Bereichen des menschlichen Lebens, z. B. bei militärischen Operationen, in der Industrie, bei Rettungseinsätzen, im Gesundheitswesen, im Bildungswesen, bei der persönlichen Unterstützung, in der Unterhaltung und in der Landwirtschaft. Mit der zunehmenden Verbreitung von humanoiden Robotern stellen sich rechtliche und ethische Fragen in Bezug auf Haftung, Datenschutz und mögliche Verdrängung von Arbeitsplätzen.

ÜBERBLICK ZUM THEMA

Menschenähnliche Roboter werden meist als humanoide oder androide Roboter bezeichnet, je nachdem, wie stark sie sich von echten Menschen unterscheiden: *Humanoide* Roboter sehen mechanisch aus, auch wenn sie in der Regel einen Kopf, einen Rumpf, Arme und manchmal auch Beine haben. *Androide* Roboter versuchen dagegen das menschliche Aussehen so realistisch wie möglich nachzuahmen, beispielsweise durch Silikonhaut, Kleidung, Perücken oder sehr realistische Details wie Wimpern (Mara, 2022). Bereits seit vielen Jahren sind humanoide Roboter, deren Konstruktion der menschlichen Gestalt nachempfunden ist, in der Entwicklung. *Humanoide* Roboter sind besonders für die Interaktion mit Menschen und Aufgaben in Alltagsumgebungen geeignet. Der Traum eines „humanoiden Automaten“ ist allerding sehr alt und taucht bereits in der griechischen und chinesischen Mythologie auf; schon Leonardo baute einen solchen Automaten im 15. Jahrhundert.

Insgesamt wird die Entwicklung humanoider Roboter der letzten 50 Jahre in drei Phasen unterteilt. Nachdem in den 1970er Jahren vor allem die Entwicklung des zweibeinigen Gangs die größte Herausforderung war, wurden Anfang der 2000er Jahren gehende Roboter mit niedriger Intelligenz entwickelt. Ab dem Jahr 2010 bis heute entstanden schließlich humanoide Roboter mit höherer Intelligenz (Tong, 2024). Bei der Fortbewegung von Robotern auf zwei Beinen wurden in einer Vielzahl von Umgebungen erhebliche Fortschritte erzielt, was ihre Flexibilität und Anpassungsfähigkeit unter Beweis stellt. Die Entwicklung und Steuerung humanoider Roboter ist zu einem wichtigen Forschungsschwerpunkt geworden, was zu raschen Fortschritten bei der Bewegungsplanung, der Leistung und der Verhaltenskontrolle durch den Einsatz von Lernalgorithmen geführt hat (Tong, 2024). *Humanoide* Roboter bieten ein beträchtliches Potenzial für den Einsatz in vielen Bereichen des menschlichen Lebens, z. B. bei militärischen Operationen, in der Industrie, bei Rettungseinsätzen, im Gesundheitswesen, im Bildungswesen, bei der persönlichen Unterstützung, in der Unterhaltung und in der Landwirtschaft (Tong, 2024). Sie könnten beispielsweise älteren Personen bei täglichen Aktivitäten helfen, quasi-soziale Interaktion bieten und sowohl kognitives als auch körperliches Training unterstützen. *Humanoide* Serviceroboter für Lager- und Logistikarbeiten werden bereits zum Kauf oder Miete für große Unternehmen angeboten.¹ Auch laufen Tests für erste Anwendungen im Automobilbau² oder auf Ölbohrinseln³. Mehr auf Kommunikation ausgelegte Modelle werden etwa für Krankenhäuser, Bildungseinrichtungen oder den Gastronomiebereich angeboten.⁴ *Humanoide* Roboterpolizisten sollen bereits die chinesische Polizei bei einfachen Tätigkeiten unterstützen⁵. Außerdem könnten humanoide Roboter, sobald sie ausreichend entwickelt sind, militärische Konflikte revolutionieren, indem sie menschliches Personal auf dem Schlachtfeld ersetzen oder ergänzen.⁶

Humanoide Automaten
– ein alter Traum

Humanoide vs.
Androide

Vielfältige
Einsatzzweck

Dual-use

¹ agilityrobotics.com; apptronik.com/apollo.

² vdi-nachrichten.com/technik/automation/humanoid-roboter-boston-dynamics-zeigt-erste-anwendung-im-automobilbau/.

³ futurezone.at/science/nasa-humanoid-roboter-oelbohrinsel-valkyrie-mond-artemis-basis/402517573.

⁴ probo-robotics.at.

⁵ youtube.com/watch?v=cN4HFykDRoA.

⁶ uscc.gov/sites/default/files/2024-10/Humanoid_Robots.pdf.

Mehrere führende Robotikunternehmen haben fortschrittliche humanoide Prototypen vorgestellt, z. B. Figure 01 von Figure AI, Apollo von Apptronik, Atlas von Boston Dynamics, Digit von Agility Robotics, Optimus von Tesla, G1 von Unitee, Walker S von UBTEch und GR-1 von Fourier Intelligence. Diese Roboter zeigen derzeit Fähigkeiten wie das Sortieren von Gegenständen, das Reinigen, das Heben von Kisten und das Gehen, wobei einige mit Menschen interagieren können. Allerdings führen sie diese relativ einfachen Aufgaben meist langsamer aus als ein durchschnittlicher Mensch (USCC, 2024). Herausforderungen wie langsame Reaktionszeiten und technische Fehler stellen weiterhin erhebliche Hindernisse dar (Arndtfolk, 2022).

In den letzten zehn Jahren haben bedeutende Durchbrüche im Bereich des Deep Learning und der *generativen KI* – insbesondere bei großen *Sprachmodellen* (LLMs) und großen multimodalen Modellen (LMMs) – zu großen Fortschritten in der humanoiden Robotik geführt und neue Leistungen in verschiedenen Bereichen ermöglicht. In Verbindung mit Fortschritten im Bereich der Sensorik könnten damit die Kommunikations- und Entscheidungsfähigkeit sowie die Autonomie von Robotern einen deutlichen Sprung nach vorne machen. Die Integration von generativer KI in die humanoide Robotik wird oft als Beginn einer neuen Ära („Humanoide KI-Roboter“, oder „embodied AI“) gehandelt (Cao, 2024). Diese Dynamik zeigt sich etwa darin, dass NVIDIA eine umfassende KI-Plattform für führende Unternehmen im Bereich humanoider Roboter aufbaut, und eine andere große KI-Plattform (huggingface) den Hersteller eines Open-Source-Humanoiden übernommen hat.⁸

Neben autonomen wird auch an ferngesteuerten humanoiden Robotern geforscht, wobei diese zwei Steuerungsformen sich nicht gegenseitig ausschließen.⁹ Fernsteuerung ermöglicht die Kombination menschlicher kognitiver Fähigkeiten und Fachkenntnisse mit den physischen Fähigkeiten des Roboters. Allerdings ist die Komplexität der Roboter eine Herausforderung für die Fernsteuerung, insbesondere in unvorhersehbaren, dynamischen Umgebungen mit eingeschränkter Kommunikation (Darvish, 2023).

Der weltweite Markt für humanoide Roboter könnte laut Schätzungen von Goldman-Sachs bis 2035 von derzeit ein bis zwei auf 38 Milliarden Dollar anwachsen. Ein Großteil der für humanoide Roboter erforderlichen Hardware ist entweder bereits verfügbar oder steht kurz vor Markteinführung. Schlüsselkomponenten wie Kameras, Motoren, Sensoren, Getriebe und Batterien stehen weitgehend für den kommerziellen Einsatz bereit.¹⁰ Die Kosten für die Herstellung von humanoiden Robotern sind erheblich gesunken – während sich Schätzungen von 2023 noch auf \$ 50.000 für einfache Modelle und \$ 250.000 für fortgeschrittene Versionen beliefen, beziffert Goldman-Sachs die Kosten derzeit auf \$ 30.000-150.000 pro Einheit. Solche optimistischen Prognosen gehen neben dem Einsatz für dreckige, gefährliche und langweilige Arbeiten (wie etwa der Umgang mit Giftmüll) auch davon aus, dass sich humanoide Roboter zum nächsten „must-have“ für Konsument:innen durchsetzen könnten, um vielfältige Tätigkeiten im Haushalt zu über-

Mehrere Anbieter am Markt

Humanoide KI als neue Ära der Robotik

Eigenständige und ferngesteuerte Humanoide

Große Markterwartungen

⁷ fraunhofer.de/de/forschung/aktuelles-aus-der-forschung/ki-robotik.html.

⁸ humanoidroboticstechnology.com/news/hugging-face-announces-acquisition-of-pollen-robotics/.

⁹ pollen-robotics.com/reachy/.

¹⁰ goldmansachs.com/insights/articles/the-global-market-for-robots-could-reach-38-billion-by-2035.

nehmen. Einige Firmen kündigen an, bald Tests im Haushalt durchführen zu wollen.¹¹ Dies ist allerdings ein Marktversprechen, das es zumindest schon seit den 1960er-Jahren gibt und das auch in der Science-Fiction bereits seit Langem breit thematisiert wird.

Japan, die USA und China sind die führenden Nationen in der humanoiden Robotikforschung. Zu den wichtigsten Einrichtungen gehören die Universitäten Tokio, Waseda und Osaka in Japan, das Beijing Institute of Technology und die Tsinghua-Universität in China sowie das MIT in den USA. Auch andere Länder wie Italien, Deutschland, Frankreich, Großbritannien und Südkorea haben wichtige Beiträge zu diesem Bereich geleistet (Tong, 2024). humanoide Roboter werden auch als Symbol für die technologische Stärke und Innovation eines Landes gesehen, ähnlich wie Weltraumtechnologien. In den USA und China wird die Kommerzialisierung humanoider Roboter intensiv vorangetrieben. Entscheidende Technologien sind derzeit in einigen wenigen Unternehmen konzentriert, die sich auf die Entwicklung eigener Sensoren und Aktoren, fortschrittlicher Hardware wie Grafikprozessoren und entsprechender KI-Modelle spezialisiert haben. China fördert Innovationen und führt diese auf dem heimischen Robotikmarkt ein, um seine Abhängigkeit von Technologien zu verringern, die von US-amerikanischen und anderen nicht-chinesischen Unternehmen dominiert werden (USCC, 2024).

Die Entwicklung hochintelligenter und anpassungsfähiger humanoider Roboter bleibt eine große Herausforderung. Derzeit verwenden nur wenige humanoide Roboter große Sprachmodelle (LLMs) oder generative KI. Diese Lücke offenbart ein beträchtliches ungenutztes Potenzial, unterstreicht aber auch die bestehenden Herausforderungen im Bereich der humanoiden KI (Cao, 2024). Um die potenziellen Fähigkeiten humanoider Roboter voll ausschöpfen zu können, sind weitere Innovationen sowohl bei der Hardware als auch bei der Software erforderlich (Tong, 2024). Herausforderungen sind beispielsweise die noch hohen Entwicklungs- und Wartungskosten, der hohe Energieverbrauch, eine effektive Mensch-Maschine-Zusammenarbeit, die Verfügbarkeit von Hochpräzisionskomponenten, die präzise Kontrolle und Koordination oder die limitierte Wahrnehmung der Umwelt.¹²

Die bekannte Uncanny-valley-Hypothese (Akzeptanzlücke) besagt, dass eine zunehmende Ähnlichkeit von künstlichen Figuren mit Menschen nicht unbedingt mit einer größeren Sympathie einhergeht. Anfangs steigt die Sympathie zwar an, wenn die Menschenähnlichkeit zunimmt, ist die Ähnlichkeit aber sehr hoch und nicht perfekt, werden Figuren eher abgelehnt und als unheimlich empfunden. Dieser Bruch in der Sympathie wird auch als Akzeptanzlücke bezeichnet (Mara, 2022). Hier ist auch zu betonen, wie wichtig lange Testphasen und Sicherheitsüberprüfungen sind, bevor Roboter frei in menschliche Umgebungen entlassen werden¹³.

*China investiert,
um amerikanische
und japanische
Vorherrschaft zu
brechen*

*Entwicklung
hochintelligenter
humanoider Roboter
bleibt eine
Herausforderung*

*Menschenähnliche
Roboter erscheinen
unheimlich:
Uncanny valley*

¹¹ heise.de/news/Figure-AI-Erste-Tests-fuer-humanoider-Roboter-im-Haushalt-noch-2025-10299391.html.

¹² topbots.com/humanoid-robots-overview-2024.

¹³ heise.de/news/Fehlfunktion-Humanoider-Roboter-schlaegt-bei-Tests-um-sich-10374306.html.

Eine Metastudie zeigt, dass das wissenschaftliche Verständnis für die Wirkung der Zuweisung von geschlechtsspezifischen Merkmalen bei Robotern begrenzt ist. So ist nicht klar, ob es in Bezug auf das Design nutzt oder schadet. Eine Manipulation der Genderwahrnehmung von Menschen bei Robotern findet über die Stimme, Namen und Pronomen, Gesichtszüge, Kleidung und Farben, Frisuren und Körperformen statt. Während es sich insgesamt kaum auf die Sympathie oder Akzeptanz auswirkt, verstärkt es die Stereotypisierung in der Mensch-Roboter-Interaktion deutlich (Perugia, 2023). Es zeigt sich beispielsweise, dass weiblich gegenderte Roboter bei Servicetätigkeiten bevorzugt werden, woraus sich aus feministischer Sicht die Frage stellt, ob hier die Vorliebe der Nutzer:innen für weibliche Serviceroboter unterstützt werden sollte, auch wenn sie aus dem diskriminierenden Verständnis einer geschlechtsspezifischen Gesellschaft herröhrt. Eine ähnliche Dynamik zeigt sich bei Kindern, die „weibliche“ Roboter im Vergleich weniger mögen, wenn diese Emotionen wie Wut zeigen. Auch konnte gezeigt werden, dass Männer ablehnendes Verhalten bei männlich gelesenen Robotern viel mehr akzeptierten als bei Weiblichen. Das deutet insgesamt darauf hin, dass weibliche gelesene Roboter, wie auch Frauen, weniger gemocht werden, wenn sie sich nicht gefügig oder zustimmend verhalten (Perugia, 2023). Letztendlich wird die zukünftige Entwicklung humanoider Roboter von der Marktnachfrage und der Fähigkeit, praktische Bedürfnisse zu erfüllen, bestimmt werden. Bei der Integration von Robotik und KI in Unternehmen sollten Manager:innen das psychologische und soziale Wohlbefinden der Mitarbeiter:innen in den Vordergrund stellen. Generative KI könnte hier die Mensch-Maschine-Kommunikation fördern. Ein auf den Menschen ausgerichteter Ansatz, ethische Orientierung, Mitarbeiterschulungen und die Achtung der Menschenrechte sind für eine verantwortungsvolle Umsetzung entscheidend (Obrenovic, 2025).

*Gendering von
humanoiden/androiden
Robotern
verstärkt Stereotype*

*Zukünftige
Entwicklung auch
unter ethischen
Aspekten*

RELEVANZ DES THEMAS FÜR DAS PARLAMENT UND FÜR ÖSTERREICH

Forschung zu humanoiden Robotern findet in Österreich an mehreren Hochschulen statt, etwa der TU-Wien¹⁴, oder zur Roboterpsychologie an der JKU Linz.¹⁵ Auch Zulieferbetriebe für Komponenten humanoider Robotik sind in Österreich ansässig.¹⁶ Prognostiziert wird, dass der Robotikmarkt in Österreich bis 2029 ein jährliches Umsatzwachstum von 7 Prozent und ein Gesamtvolumen von mehr als 600 Mio. € aufweisen wird.¹⁷ Die Servicerobotik, zu der humanoide Roboter in der Regel gehören, soll etwa zwei Drittel beitragen. Sobald die Technologie fortgeschritten und erschwinglich genug ist, könnten humanoide Roboter verschiedene Wirtschaftszweige erheblich beeinflussen, indem sie den Arbeitskräftemangel beheben und die Kosten senken. Andererseits könnten sie auch gegen teilige Effekte am Arbeitsmarkt haben, wenn Tätigkeiten und damit Arbeitsplätze ersetzt werden. Derzeit haben humanoide Roboter keine direkten Auswirkungen auf die Arbeitsproduktivität. Ihr Einfluss ist vielmehr indirekt und erfolgt durch die Schaffung völlig neuer Arbeitsabläufe sowie die Anpassung oder Fortfüh

*Wirtschaftsfaktor,
Arbeitsmarkt,
Militär*

¹⁴ acin.tuwien.ac.at/robotic-systems-lab/forschung/lokomotion-und-humanoider-robotik/.

¹⁵ jku.at/lit-robopsychology-lab/.

¹⁶ schaeffler.com/de/news_medien/pressemitteilungen/pressemitteilungen_detail.jsp?id=88086784.

¹⁷ de.statista.com/outlook/tmo/robotik/oesterreich.

rung bestehender Arbeitsabläufe (Del Giudice, 2023). Erste Anwendungstest mit humanoiden Robotern laufen etwa bei den Büchereien der Stadt Wien¹⁸. Mit der zunehmenden Verbreitung von humanoiden Robotern stellen sich rechtliche und ethische Fragen in Bezug auf Haftung, Datenschutz und mögliche Verdrängung von Arbeitsplätzen und Sicherheit. Eine verantwortungsvolle Entwicklung im Einklang mit gesellschaftlichen Werten ist für die breite Akzeptanz und den Erfolg humanoider Roboter unerlässlich. Die Entwicklung geeigneter Vorschriften erfordert die Zusammenarbeit zwischen Vertreter:innen von Technik, Ethik und politischen Entscheidungsträger:innen.

*Offene rechtliche und
ethische Fragen*

VORSCHLAG WEITERES VORGEHEN

Eine Studie zu diesem Thema könnte einerseits die hier begonnene Analyse der Entwicklungs- und Marktchancen fortsetzen, andererseits die Literatur zu den Auswirkungen auf die Gesellschaft, das Recht und die Wirtschaft untersuchen. Die Untersuchung könnte sich an folgenden Leitfragen orientieren: In welchen alltäglichen Anwendungsbereichen ist eine Verbreitung zu erwarten? Was sind jeweils die Chancen und Risiken (rechtlich, ethisch)? Wie ist der Stand der Regulierung? Reichen die bestehenden Vorschriften aus (z. B. bzgl. Haftung)?

*TA-Studie zu
Perspektiven und
Auswirkungen
humanoider Robotik*

ZITIERTE LITERATUR

Andtfolk, M., et al. (2022). Humanoid robots in the care of older persons: A scoping review. *Assistive Technology*, 34(5), 518-526, doi.org/10.1080/10400435.2021.1880493.

Cao, L. (2024). Ai robots and humanoid ai: Review, perspectives and directions. *arXiv preprint arXiv:2405.15775*.

Darvish, K., et al. (2023). Teleoperation of Humanoid Robots: A Survey. *IEEE Transactions on Robotics*, 39(3), 1706-1727.

Del Giudice, M., et al. (2023). Humanoid robot adoption and labour productivity: a perspective on ambidextrous product innovation routines. In *Artificial Intelligence and International HRM* (S. 33-59): Routledge.

Mara, M., et al. (2022). *Human-Like Robots and the Uncanny Valley: A Meta-Analysis of User Responses Based on the Godspeed Scales* (Vol. 230): Hogrefe Publishing, doi.org/10.1027/2151-2604/a000486.

Obrenovic, B., et al. (2025). Generative AI and human–robot interaction: implications and future agenda for business, society and ethics. *AI & SOCIETY*, 40(2), 677-690, doi.org/10.1007/s00146-024-01889-0.

Perugia, G., & Lisy, D. (2023). Robot's Gendering Trouble: A Scoping Review of Gendering Humanoid Robots and Its Effects on HRI. *International Journal of Social Robotics*, 15(11), 1725-1753, doi.org/10.1007/s12369-023-01061-6.

Tong, Y., et al. (2024). Advancements in Humanoid Robots: A Comprehensive Review and Future Prospects. *IEEE/CAA J. Automatica Sinica*, 11(2), 301-328.

USCC (U.S.-China Economic and Security Review Commission). (2024). *Humanoid Robots*, uscc.gov/research/humanoid-robots.

¹⁸ ioeb.at/humanoid-roboter-fuer-die-buechereien-der-stadt-wien.

GESELLSCHAFTLICHE FOLGEN HYBRIDER ARBEITSFORMEN



© CC0 (Ana Achim/unsplash)

ZUSAMMENFASSUNG

In der COVID-19-Pandemie kam es, um Infektionen zu vermeiden, zu einem abrupten und starken Anstieg der Homeoffice-Nutzung. Aktuelle Studien zeigen, dass die Häufigkeit von Homeoffice seit Ende der Pandemie zurückgegangen ist, aber immer noch über dem Niveau vor der Pandemie liegt. Unter dem Begriff hybride Arbeit wird neben Homeoffice auch mobiles Arbeiten gefasst. Je nach konkreter Ausgestaltung bietet hybride Arbeit Vorteile auf individueller (Zeitersparnis, Work-Life-Balance) und gesellschaftlicher Ebene (Verringerung des Verkehrsaufkommens, Attraktivität peripherer Regionen), denen aber auch Nachteile entgegenstehen: Auf individueller Ebene bestehen Risiken wie ständige Erreichbarkeit, Ergonomie und hoher Produktivitätsdruck. Auf gesellschaftlicher Ebene ist die Möglichkeit hybrider Arbeit je nach Sektor und Rolle im Unternehmen ungleich verteilt und die Abhängigkeit von (außereuropäischen) Technologie-Unternehmen kann steigen.

Homeoffice weiterhin stark verbreitet, offene Fragen bleiben

ÜBERBLICK ZUM THEMA

Im Zuge der COVID-19-Pandemie kam es zu einem sprunghaften Anstieg an Homeoffice-Arbeit, um die Ansteckung am Arbeitsplatz und in öffentlichen Verkehrsmitteln zu vermeiden. Seit dem Ende der Pandemie hat sich die Nutzung dieser Arbeitsform wieder stark reduziert, ist aber dennoch deutlich verbreiteter als zuvor. In manchen Bereichen scheint auch eine ausgesprochene Gegenbewegung stattzufinden. So haben einige der größten börsennotierten Unternehmen in den USA eine „Return to Office Policy“ eingeführt – ohne messbare Auswirkung auf die Unternehmens-Performance (Bath & Brauchle, 2025).

Um die gesellschaftlichen Folgen hybrider Arbeit abzuschätzen hat das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) eine Kompaktstudie durchgeführt (Hubel et al. 2024). Im Rahmen dieser Studie wurden Expert:innen verschiedener Bereiche über zukünftige Auswirkungen, Gestaltungsoptionen und weiteren Untersuchungsbedarf befragt. Die Ergebnisse werden in der Folge knapp zusammengefasst und in Bezug auf Österreich eingeordnet.

Homeoffice, mobiles Arbeiten oder hybrides Arbeiten: All diesen Begriffen gemein ist, dass Beschäftigte ihre Bürotätigkeiten¹ nicht in den Räumlichkeiten des Arbeitgebers ihre Arbeit verrichten. Dabei gibt es die – während der Pandemie verbreitete – Variante des Homeoffice im Sinne des Arbeitens am eigenen Wohnsitz. Mobiles Arbeiten findet hingegen auch unterwegs, im Kaffeehaus oder im Park statt. Eine Extremform mobilen Arbeitens stellen die sog. „digitalen Nomaden“ dar, die teilweise sogar international häufig wechselnd rein remote arbeiten. Hybrides Arbeiten wird i. d. R. als weit gefasster Überbegriff genutzt, um diese Vielfältigkeit abzudecken.²

Wie Huber et al. (2024) berichten, gab es in Zeiten der Infektionsbeschränkungen während der Pandemie einen sprunghaften Anstieg der Homeoffice-Nutzung in Deutschland: Während vor der Pandemie 83 % der Beschäftigten ausschließlich oder überwiegend im Büro arbeiteten, sank diese Zahl im Zeitraum von April 2020 bis Jänner 2021 auf 53 bis 66 %. Nach Aufhebung der Infektionsbeschränkungen konnte wieder ein Anstieg der Arbeit vor Ort beobachtet werden, dieser fällt allerdings differenziert aus: Denn die Anzahl jener, die zumindest teilweise im Homeoffice arbeiteten, blieb konstant. Was hingegen deutlich abnahm war der Anteil jener, die fast ausschließlich von zu Hause arbeiteten. Unter allen, die Homeoffice nutzten, sank dieser Wert von 70 % (2021) auf 53 % (2023). Es gab also eine stärkere Mischung zwischen Tagen im Homeoffice und im Büro.

Hybride Arbeit ist somit weiterhin ein relevantes Phänomen. Dabei ist eine sektorale Ausdifferenzierung erkennbar: Branchen mit hoher Interaktionsarbeit (z. B. stationärer Handel, Sozialberufe) sowie in gewerblich-technischen Berufen ist hybride Arbeit deutlich weniger verbreitet. Offen ist die Frage, ob in diesen Branchen mehr Telearbeit möglich ist (etwa durch technische Innovationen) oder ob es prinzipielle Grenzen dafür gibt (Hubel et al. 2024).

*Seit der
Corona-Pandemie ist
Homeoffice signifikant
häufiger*

*Studie des
deutschen TAB*

*Begriffsklärung:
Telearbeit, Homeoffice,
mobiles, hybrides
Arbeiten*

*Trotz Rückgangs
weiterhin Homeoffice
über vorpandemischem
Niveau*

*Sektorale Unterschiede
bzgl. der Möglichkeit
zu hybrider Arbeit ...*

¹ Wobei seit der Corona-Pandemie auch interaktive Formate wie Distanz-Lehre, Vortrags-tätigkeit via Videoschaltung etc. etablierter wurden. Folglich werden unter hybrider Arbeit i. d. R. Wissensarbeit und insbesondere Bildschirmarbeit diskutiert (Bath & Brauchle, 2025) und nicht z. B. herkömmlicher Außendienst, Montage- und Bauarbeiten.

² In Teilen der Literatur wird der Begriff „hybrides Arbeiten“ anders verstanden, nämlich als Arbeitssituationen, in denen manche Mitarbeiter:innen vor Ort anwesend sind, während andere – insbesondere bei Besprechungen – remote zugeschaltet sind, ähnlich sog. hybriden Konferenzen.

In diesen unterschiedlichen Möglichkeiten der Telearbeit sehen Hubel et al. (2024) auch die Gefahr einer Polarisierung unter Erwerbstägigen: Während also z. B. Akademiker:innen von den flexiblen Möglichkeiten der Telearbeit profitieren, ist das z. B. für Fabrikarbeiter:innen und Pflegekräfte nicht möglich. Diese Polarisierung kann sich auch innerhalb einer Organisation abbilden. So kann es sein, dass für bestimmte Teile der Belegschaft hybride Arbeit eher akzeptiert wird, während von anderen erwartet wird, dass sie immer vor Ort sind (z. B. Sekretariat).

Doch auch unter jenen, die Telearbeit in Anspruch nehmen können, sind die Voraussetzungen nicht gleich verteilt (Hubel et al. 2024). Die Ausstattung des Heimarbeitsplatzes (Bürostuhl und großer Bildschirm vs. Laptop am Küchentisch) hängt auch von der Finanzkraft der Beschäftigten ab. Dazu zählt auch die Möglichkeit, ein eigenes Arbeitszimmer einrichten zu können, was sich auf die Ergonomie des Heimarbeitsplatzes auswirkt – mit möglichen gesundheitlichen Folgen. Aber auch die Möglichkeit, sich von anderen Haushaltsgliedern abzuschirmen, ist nicht für alle Beschäftigten im Homeoffice gegeben.

Im Allgemeinen scheint die Antwort auf die Frage, wie sich hybride Arbeit auf die psychische Gesundheit auswirkt, stark von ihrer konkreten Ausgestaltung abzuhängen (Bath & Brauchle, 2025; Gerich, 2025; Hubel et al., 2024). Denn einerseits ermöglicht hybride Arbeit unter günstigen Bedingungen eine Verbesserung der Work-Life-Balance, z. B. indem kleine Erledigungen im Arbeitsalltag eingebaut werden können oder durch die Zeitersparnis, die sich aus dem Wegfall des Arbeitsweges ergibt. Gleichzeitig ist es bei hybrider Arbeit schwieriger, die Grenze zwischen Arbeit und Privatleben zu ziehen – bis hin zu Erwartungen der ständigen Verfügbarkeit und hohem Produktivitätsdruck. Auch die Einhaltung von Pausen hat in der Hochphase des Homeoffice gelitten, dürfte sich aber durch die oft nur teilweise Beanspruchung von Homeoffice wieder verbessert haben (Nowshad et al. 2024).

Etwas unklar erscheint die Datenlage, ob Telearbeit geschlechtsspezifische Auswirkungen hat. Ob es eine überproportionale Kinderbetreuung durch Frauen im Homeoffice gibt, ist nicht ausreichend untersucht (Hubel et al. 2024): Zumindest in Deutschland sind beispielsweise in der Altersgruppe der 26- bis 35-Jährigen mehr Frauen als Männer im Homeoffice tätig, die Gründe dafür sind jedoch nicht geklärt. In Österreich waren in der Altersgruppe der 25- bis 49-Jährigen vor der Pandemie mehr Männer im Homeoffice, nach der Pandemie waren es (bis auf 2023) mehr Frauen.³

Häufige hybride Arbeit kann zu sog. Telepressure führen: Wegen der Befürchtung, im Homeoffice weniger sichtbar zu sein, engagieren sich Arbeitnehmer:innen besonders intensiv, was zusätzliche Belastung bedeuten kann (Hubel et al. 2024). Auch die Möglichkeiten für spontane Absprachen sind bei hybrider Arbeit verringert. Insgesamt sind die Bedürfnisse nach sozialen Kontakten und Zugehörigkeitsgefühl Gründe für den Rückgang von Homeoffice seit der Pandemie (Nowshad et al. 2024).

Wenn hybride Arbeit verbreiteter wird, hat dies auch Auswirkungen auf die Bedeutung der Arbeitsstätte: Die Standortwahl von Unternehmen könnte sich nachhaltig verändern. Die vom TAB befragten Expert:innen (s. o.) schätzen, dass der

... mit Potential für gesellschaftliche Polarisierung ...

... sowie innerhalb eines Unternehmens

Konkrete Ausgestaltung wichtig für Auswirkung auf Gesundheit

Geschlechtsspezifische Auswirkungen nicht eindeutig

Soziale Kontakte, Zugehörigkeit und informeller Austausch erschwert

Arbeitsstätte verliert an Bedeutung durch Telearbeit

³ Erwerbstägige, die von zu Hause aus arbeiten, als Prozentsatz der gesamten Beschäftigung, nach Geschlecht, Alter und Stellung im Beruf:
ec.europa.eu/eurostat/databrowser/bookmark/850c9cbc-fdf1-47bd-9af1-b3402252d89e?lang=de.

Bedarf an Bürofläche weiter sinken wird. Für Deutschland wird etwa eine dauerhafte Reduktion an Büroflächen von 12 % prognostiziert (Hubel et al. 2024). Für Wien wird eine Veränderung der nachgefragten Art von Bürofläche berichtet, mit Fokus auf Flexibilität, Kollaboration und Rückzugsmöglichkeiten für konzentriertes Arbeiten (EHL Gewerbeimmobilien GmbH, 2025). Ländliche Regionen können vermutlich davon profitieren, dass sie dank Homeoffice für Erwerbstätige attraktiver werden (Hubel et al., 2024).

Die Reduktion des Pendelverkehrs hat neben der Zeitersparnis auch positive Effekte für die Umwelt: Expert:innen sind sich weitgehend einig, dass das Verkehrsaufkommen dadurch reduziert wird – und dieser Vorteil den zusätzlichen Energiebedarf digitaler Technologien (z. B. für Online-Meetings) übersteigt (Hubel et al. 2024). Die Verringerung des Pendelverkehrs birgt jedoch auch das Risiko, dass Einkäufe, die ursprünglich am Arbeitsweg getätigt wurden, in den Onlinehandel verlagert werden. Neben der täglichen Pendeltätigkeit hat die Etablierung von Videokonferenzen auch die Reisetätigkeit reduziert (Nowshad et al. 2024), was die Umweltbilanz weiter verbessert und Reisekosten senkt.

Trotz der mittlerweile umfangreich gesammelten Erfahrungen und technologischen Entwicklungen stellen hybride Besprechungen (bei denen ein Teil des Teams vor Ort, ein Teil per Internet zugeschaltet ist) weiterhin eine Herausforderung dar (Nowshad et al. 2024): Noch immer werden remote zugeschaltete Teilnehmer:innen häufiger nicht so gut eingebunden wie jene vor Ort, was eine aktive Teilnahme und effektive Kommunikation erschwert. In diesem Bereich können aber zukünftige Entwicklungen (z. B. KI-gestützte Moderation, verbesserte Ton- und Bildqualität) Verbesserungen bringen. Auch die Delphi-Befragung von Expert:innen durch das TAB zeigt, dass Technologien in Zukunft substanziell dazu beitragen können, hybride Arbeitsformen zu ermöglichen, insbesondere Kollaborationsplattformen, KI sowie Mixed- und Virtual Reality.

Allerdings erweist sich Technologie nicht als der wichtigste Faktor für hybride Arbeit: Viel wichtiger werden die Entwicklung einer hybriden Arbeitskultur, hybrider Führungsstile und Teamstrukturen als entscheidend angesehen (Hubel et al. 2024). Unter Führungskräften trugen die Erfahrungen während der Pandemie dazu bei, dass die Akzeptanz für Homeoffice gestiegen ist. Wichtigen Beitrag dazu lieferte auch die höhere Zufriedenheit der Beschäftigten bei Homeoffice-Möglichkeit. Insgesamt stellt Telearbeit höhere Anforderungen an Führungskräfte, um weiterhin einen funktionierenden Austausch in der Belegschaft sicherzustellen.

Viele der für das hybride Arbeiten genutzten Softwarelösungen bieten das Potential für detailliertere Überwachung. Daher ist stärkere Überwachung eine Sorge der Beschäftigten (Hubel et al. 2024). Darüber hinaus stellt Telearbeit größere Herausforderungen im Bereich der Datensicherheit im Vergleich zur Arbeit am Unternehmensstandort.⁴

*Reduzierter
Pendelverkehr führt
zu Emissionsrückgang
und Zeitersparnis*

*Hybride Besprechungen
weiterhin eine
Herausforderung*

*Neue
Herausforderungen
für Führungskräfte*

*Sorge um
Überwachung und
Datensicherheit*

⁴ In diese Richtung gehen auch Bedenken der Datenschutzbehörde, die darauf hinweist, dass bei hybrider Arbeit möglicherweise die DSGVO-Konformität nicht gewährleistet werden kann: parlament.gv.at/gegenstand/XXVII/SNME/253838/.

RELEVANZ DES THEMAS FÜR DAS PARLAMENT UND FÜR ÖSTERREICH

In Österreich gab es ebenfalls im Zuge der COVID-19-Pandemie einen deutlichen Ansprung der Homeoffice-Nutzung und später einen Rückgang. Dennoch ist die Verbreitung weiterhin über dem vorpandemischen Niveau. So weisen Zahlen von Eurostat aus, dass 29,8 % aller Erwerbstätigen im Jahr 2020 „gewöhnlich“ oder „manchmal“ im Homeoffice gearbeitet haben – der Höchstwert während der Pandemie. Seither ist dieser Wert auf 28,1 % gesunken – damit aber weiter deutlich höher als 2019, als dieser Wert bei 22 % lag.⁵ Auch die seit 2017 durch Deloitte mit den Universitäten Wien und Graz durchgeführte Studie „Flexible Working“ zeigt einen ähnlichen Verlauf bei der Homeoffice-Nutzung (Nowshad et al. 2024). Auch hierzulande ist eine sektorale Differenzierung bzgl. hybrider Arbeit festzustellen. Die Notwendigkeit, die Arbeitsbedingungen in Pflege, Handwerk und Produktion in dieser Hinsicht näher zu untersuchen, thematisiert auch die Flexible-Working-Studie, da die Autor:innen überwiegend Büro-Angestellte erreichten. Daher verwundert nicht, dass bei 65 % der befragten Unternehmen „zumindest die Hälfte der Mitarbeiter:innen regelmäßig“ (S. 5) im Homeoffice waren – deutlich mehr als die oben genannten Eurostat-Daten vermuten lassen würden (die alle Erwerbstätigen umfassen).

Die Akzeptanz unter den Führungskräften scheint auch in Österreich gestiegen zu sein: Laut der Flexible-Working-Studie konnte die Mehrheit der Führungskräfte keine Produktivitätseinbußen durch hybrides Arbeiten erkennen. Dennoch stehen Führungskräfte hybriden Arbeitsformen nach wie vor skeptischer gegenüber als die Belegschaft, insbesondere in Bezug auf Kommunikation und Leistungskontrolle. Daher sollte besonders der informelle Austausch gezielt gefördert werden, der neben der Förderung des Zusammenhalts im Unternehmen auch für die Vernetzung und Innovation wichtig sein kann (Nowshad et al. 2024).

In Österreich ist am 1. Jänner 2025 das neue Telearbeitsgesetz in Kraft getreten, es löst das Homeoffice-Gesetz ab. Einige rechtliche Fragestellungen sind nun klarer geregelt und es wurden neue Möglichkeiten für hybride Arbeit geschaffen. Zusätzlich zum bisher möglichen Homeoffice (Telearbeit „im engeren Sinne“, nun erweitert um Wohnsitz Angehöriger und Coworking-Spaces) wird auch „Telearbeit im weiteren Sinne“ definiert: Sie findet an wechselnden Orten statt. Hierunter fällt also das Arbeiten im Kaffeehaus, im Park oder in der Bahn. Diese rechtliche Unterscheidung ist in Bezug auf den Wegschutz relevant: Dieser gilt bei Telearbeit im weiteren Sinne nicht.

*Auch in Österreich
Niveau von Homeoffice
über vorpandemischem
Niveau ...*

*... sowie sektorale
Differenzierung ...*

*... und gestiegene
Akzeptanz*

*Neues Telearbeits-
gesetz schafft neue
Rahmenbedingungen*

VORSCHLAG WEITERES VORGEHEN

Aus Sicht der Technikfolgenabschätzung stellt sich zuvorderst die Frage, wie die positiven Aspekte hybrider Arbeit weiteren Beschäftigtengruppen zugutekommen können: Welche Technologien (z. B. Augmented/Virtual Reality) ermöglichen zumindest teilweises hybrides Arbeiten auch in Branchen wie Produktion, Pflege etc.? Hier bedarf es verstärkter Forschung, um die Gefahr für gesellschaftliche Polarisierung hintanzuhalten.

*Erforschung von
Potential in weiteren
Sektoren*

⁵ ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/lfsa_ehomp/default/line?lang=de.

Darüber hinaus stehen umfangreichere Studien dazu aus, welche hybriden Arbeitsformen die positiven gesundheitlichen, sozialen und ökologischen Effekte bestmöglich realisieren und negative Folgen verhindern: Welche Indikatoren für eine gelungene Balance zwischen Arbeit im Büro und remote können Orientierung geben? Wie können Austausch und Kommunikation erfolgreich gestaltet werden, ohne Leistungsdruck, ständiger Erreichbarkeit und Mitarbeiter:innen-Überwachung Vorschub zu leisten?

Weiters wird angeregt, das mögliche Potential von innovativen Telearbeitskonstellationen zu untersuchen. Besonderer Fokus könnte etwa auf mögliche positive Auswirkungen für den ländlichen Raum gelegt werden: Könnten Kommunen gezielt Coworking-Spaces anbieten, um die Attraktivität zu steigern? Soll die Anmietung von Coworking-Spaces durch mehrere Arbeitgeber im ländlichen Bereich gefördert werden – um einerseits die Unternehmen für Fachkräfte in anderen Regionen attraktiver zu machen, andererseits die Landflucht abzuschwächen, Pendelaktivität zu reduzieren und damit sowohl den öffentlichen Verkehr zu entlasten als auch die Treibhausgasemissionen zu reduzieren? Ähnliche Initiativen können auch periphere Gebiete in urbanen Räumen stärken.

Auf nationaler und EU-Ebene ist schließlich bei der sich abzeichnenden bleibenden Relevanz hybrider Arbeit auch die Frage der digitalen Souveränität zentral: Inwiefern ist hybride Arbeit wegen der zentralen Rolle von IT-Infrastruktur abhängig von Nicht-EU-Anbietern? Welche Alternativen aus der EU gibt es – oder wo gibt es einen Mangel an europäischen Angeboten für Videokonferenzen, Koordinations- und Kollaborationsplattformen und dergleichen? Gerade in turbulenten geopolitischen Zeiten wäre es kritisch, wenn hier eine starke Abhängigkeit von nicht-europäischen Infrastrukturen entstehen würde. Hier wird angeregt, im Rahmen einer vertiefenden Studie zu Technologien für hybrides Arbeiten unter den Aspekten digitale Souveränität, EU-Rechts-Konformität (KI-Verordnung, DSGVO etc.) sowie ethischer, sozialer und Umwelt-Folgen durchzuführen.

*Potential von
Telearbeit für
ländlichen Raum und
urbane Peripherie
untersuchen*

*Digitale Souveränität
im Homeoffice*

ZITIERTE LITERATUR

Bath, J., & Brauchle, S. (2025). Wirksamkeit von verpflichtenden Büroquoten in hybriden Arbeitsmodellen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*.
doi.org/10.1007/s41449-025-00459-4.

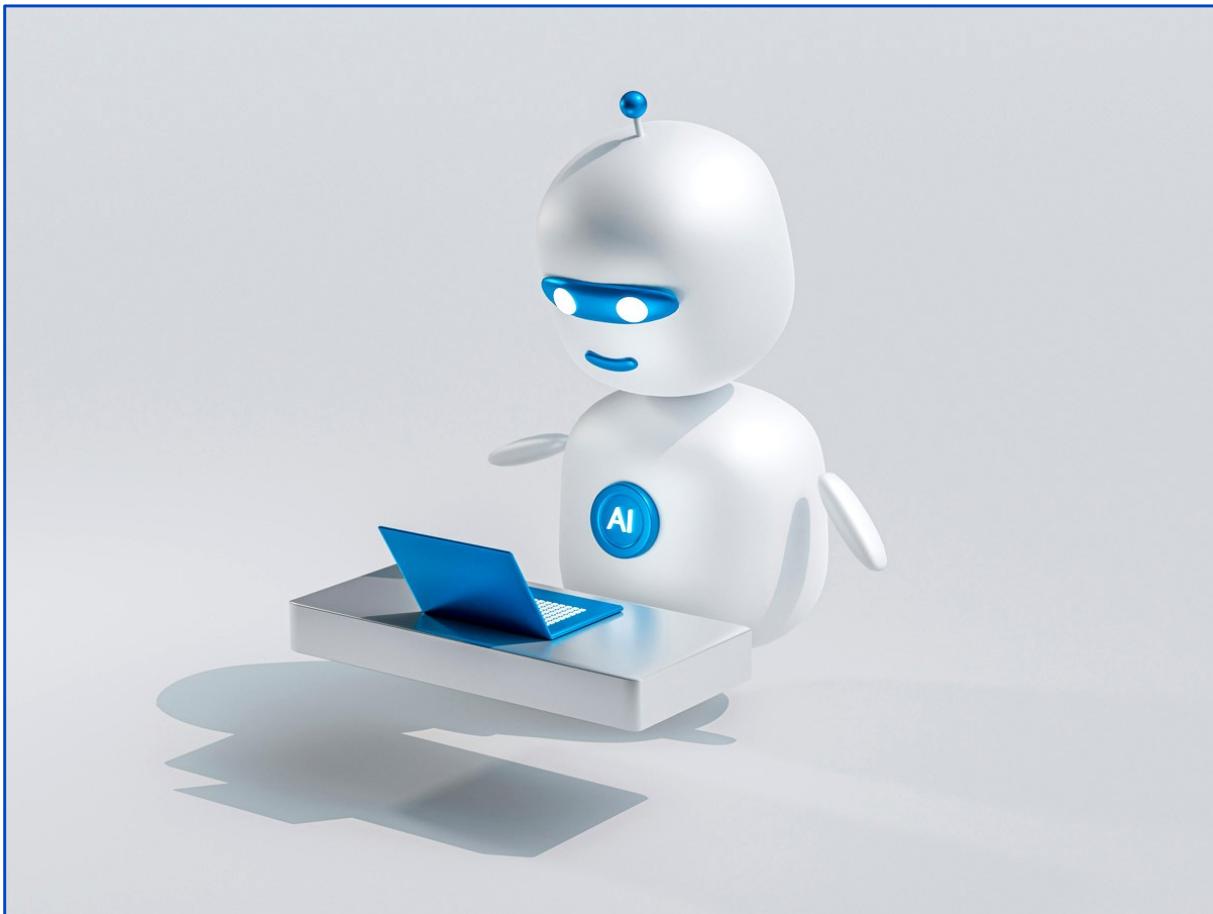
EHL Gewerbeimmobilien GmbH. (2025). *Büroimmobilien. Marktbericht Frühjahr 2025*.

Gerich, J. (2025). Gekommen um zu bleiben: Was kann aus den Pandemieerfahrungen für die Auswirkungen und die positive Gestaltung des Arbeitens im Homeoffice gelernt werden? *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 79(1), 36–50.
doi.org/10.1007/s41449-024-00421-w.

Hubel, N., Peters, R., de Saussure, M., Nerger, M., Meißner, L., & Hungerland, T. (2024). *Gesellschaftliche Auswirkungen hybrider Arbeitsformen* (No. 2; TA-Kompakt). Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag. tab-beim-bundestag.de/projekte_gesellschaftliche-auswirkungen-von-homeoffice.php.

Nowshad, A., Wolfsberger, J., Kellner, B., Korunka, C., Jäger, S., & Kubicek, B. (2024). *Flexible Working 2024*. Deloitte.

KI-AGENTEN



© CC0 (Mohamed Mohassi/unsplash)

ZUSAMMENFASSUNG

KI-Agenten bauen auf den Entwicklungen der letzten Jahre im Bereich generativer KI auf, konzentrieren sich jedoch auf die Ausführung von Aktionen in der digitalen oder physischen Welt und nicht auf die Generierung von Inhalten. Durch Kontext-Verständnis, die Nutzung von „Werkzeugen“ und die Fähigkeit zur Planung sind sie in der Lage, komplexe Aufgaben zu lösen und Ziele ohne enge menschliche Aufsicht zu verfolgen. In fortgeschrittenen Einsatzszenarien arbeiten mehrere spezialisierte KI-Agenten zusammen. Von der technologischen Basis der großen Sprachmodelle übernehmen KI-Agenten aber auch deren Nachteile wie Unzuverlässigkeit und mangelnde Fähigkeiten, logisch zu schließen. Bei vielen angepriesenen Szenarien wie automatischer Urlaubsplanung und -buchung stellen sich besonders Fragen nach Haftung und Schutz hochsensibler Daten.

Mit KI-Agenten kommt generative KI vom „Reden ins Tun“

ÜBERBLICK ZUM THEMA

Im Bereich der Künstlichen Intelligenz (KI) gibt es derzeit unter dem Begriff KI-Agenten neue Entwicklungen, die auf dem Erfolg von generativer KI, die hinter großen Sprachmodellen wie bspw. ChatGPT steht, aufbauen. Während generative KI anfangs primär Inhalte, also Text, Bild, Ton und Video, generierten, erfolgt mit KI-Agenten der nächste Schritt: Agenten sollen gewissermaßen die KI „vom Reden ins Tun“ bringen. Während es keine einheitliche Definition von KI-Agenten gibt, so herrscht insofern Einigkeit, dass KI-Agenten – mehr oder weniger eigenständig – Aktionen setzen und Ziele verfolgen können. Dies kann im virtuellen (siehe *Intelligente soziale Agenten*) oder auch im physischen Raum geschehen (siehe auch *Cobots* und *Humanoide Roboter*). Während Chatbots also erklären können, wie Nutzer:innen Aufgaben erledigen können (diese aber schlussendlich durch Menschen durchgeführt werden müssen), sollen KI-Agenten selber zur Tat schreiten und z. B. Einkäufe tätigen, im Internet nach Informationen suchen oder Termine vereinbaren.

*KI-Agenten als
jüngste Entwicklung
der generativen KI*

Ein zentraler Bestandteil von KI-Agenten sind als Werkzeuge bezeichnete Erweiterungen (Kelbert et al., 2024): Während große Sprachmodelle in Reinform nur auf die Information, die beim Training verfügbar war, zugreifen können, machen es Werkzeuge möglich, auch darüber hinaus zu gehen. Eine relativ einfache Form eines Werkzeugs ist der Zugang zur Internetsuche, um etwa auf tagesaktuelle Informationen zugreifen zu können, die beim Training noch nicht berücksichtigt werden konnten. Ähnlich sind Werkzeuge, die den Sprachmodellen den Zugriff auf z. B. Unternehmensdaten und -dokumente ermöglichen.

*Aktionen setzen statt
Inhalte produzieren*

Im letzten Jahr kamen verschiedene KI-Agenten auf den Markt, die einen Computer oder zumindest einen Webbrowser¹ bedienen können. Diese Ansätze ermöglichen es, Arbeitsschritte zu automatisieren, für die früher Programmierkenntnisse und oft auch Zugang zu Programmierschnittstellen notwendig waren. Durch die Fähigkeit, sich sozusagen durch das Internet zu bewegen und auch z. B. Formulare auszufüllen, ist es solchen KI-Agenten möglich, bspw. Hotel- und Flugbuchungen durchzuführen, Produkte zu bestellen und Ähnliches zu tun, was bisher menschlichen Nutzer:innen vorbehalten war.

*Werkzeuge erlauben
KI-Agenten
Interaktion mit
der Umgebung*

Werden mehrere Werkzeuge kombiniert, versprechen KI-Agenten, so komplexe Aufgaben wie die Buchung einer kompletten Urlaubsreise zu automatisieren – zu günstigen Konditionen, in einem terminfreien Zeitraum (durch Kalenderzugriff) und mit einer Unterkunft, die den persönlichen Vorlieben entspricht (Heikkilä 2025). Ein anderer Anwendungsfall sind automatisierte Recherchen im Internet und teilweise in wissenschaftlichen Datenbanken, genannt deep research.² Auch in der Softwareentwicklung sollen Agenten zunehmend eigenständig Programmieraufgaben übernehmen. Gerüchten zufolge plant OpenAI sogar einen

*Automatisierte
Benutzung von
Computern und
Webbrowsern*

¹ Z. B. Operator von OpenAI (openai.com/index/introducing-operator), AI Computer Use von Anthropic (anthropic.com/news/3-5-models-and-computer-use) und Googles DeepMinds Mariner (deepmind.google/technologies/project-mariner).

² Sowohl OpenAI als auch Google bieten unter diesem Namen Recherche-Assistenten an: openai.com/index/introducing-deep-research/ und blog.google/products/gemini/google-gemini-deep-research/.

*KI-Agenten zur Lösung
komplexer Probleme*

KI-Agenten, der umfangreiche Forschungsarbeiten, Datenanalysen und mehr durchführen können soll – und zwar in einer Qualität, die Doktorand:innen ähneln soll (Edwards 2025). Teil der Gerüchte ist aber auch, dass dieser KI-Agent 20.000 US-Dollar pro Monat kosten soll.

Die erfolgreiche Realisierung von KI-Agenten ist allerdings voraussetzungsreich: Einerseits muss dem KI-Agenten beigebracht werden, was seine „Umgebung“ ist und wie darauf zugegriffen werden kann. Das heißt, „er“ muss „wissen“, welche Werkzeuge zur Verfügung stehen und welchen Zweck sie erfüllen – er muss also „verstehen“, in welchem Kontext er sich bewegt. Um etwa einen Termin zu organisieren, muss die KI „wissen“, ob und wie sie auf den persönlichen Kalender zugreifen kann und wann das sinnvoll ist. Zu diesem Zweck hat etwa Anthropic im November 2024 das Model Context Protocol (MCP) vorgestellt,³ das den KIs des Unternehmens einen standardisierten Zugang zu verschiedenen Datenquellen (Datenbanken, Dateien oder auch Google Drive) erlaubt.

Um ein Ziel eigenständig verfolgen zu können, müssen KI-Agenten außerdem in der Lage sein, einen Plan auszuarbeiten, umzusetzen und gegebenenfalls anzupassen (Wang et al. 2025). Erst dann ist es möglich, dem KI-Agenten ein relativ vages Ziel vorzugeben, ohne die genaue Ausführung Schritt für Schritt vorzuschreiben. Wird diese Fähigkeit erreicht, versprechen KI-Agenten eine echte Erleichterung für viele Aufgaben zu werden.

Planende KI-Agenten mit Zugriff auf den Kontext per Werkzeug sind aber nur der erste Schritt der aktuellen Entwicklungen. Der nächste ist, KI-Agenten miteinander kollaborieren zu lassen: So können einzelne KI-Agenten für spezialisierte Aufgaben maßgeschneidert werden, aber auch mit anderen zusammenarbeiten, um komplexere Aufgaben in dynamischen Umgebungen zu erledigen. Ein positiver Nebeneffekt dieser Kollaborationen ist, dass die einzelnen KI-Agenten hochspezialisiert und damit effizienter sein können. Auch hier gibt es aktuell verschiedene Bestrebungen, diese Interaktionen zu standardisieren, etwa durch das von Google im April 2025 vorgestellte A2A-Protokoll.⁴ Wichtige Aspekte dieses Protokolls sind u. a. die Koordinierung der Agenten untereinander und der sichere Austausch von Informationen. Das A2A-Protokoll erlaubt die Interaktion mit verschiedenen anderen Technologien (Datenbanken, SAP etc.) und Plattformen (z. B. PayPal) und wird von verschiedenen Dienstleistungsunternehmen (etwa Deloitte, Accenture) unterstützt. Damit soll es auch möglich werden, KI-Agenten über Unternehmensgrenzen zusammenarbeiten zu lassen.

Eine andere Stoßrichtung der Entwicklung von KI-Agenten ist die Beeinflussung der physischen Welt durch Roboter. Microsoft hat etwa das KI-Modell Magma entwickelt, das sowohl Computerprogramme als auch Roboterarme steuern kann (Yang et al. 2025).

*Verstehen des Kontexts
essentiell*

*Vorausschauendes
Planen erforderlich,
um definiertes Ziel
zu erreichen*

*Kollaboration
mehrerer KI-Agenten
zur Erreichung
komplexer Ziele*

*Steuerung von
Maschinen und
Robotern*

³ anthropic.com/news/model-context-protocol.

⁴ developers.googleblog.com/en/a2a-a-new-era-of-agent-interoperability/.

Prinzipiell sind das Planen, die Interaktion mehrerer Agenten (in Form sog. Multi-Agenten-Systeme) und die Steuerung von Maschinen in der KI-Forschung kein neues Thema. Große Sprachmodelle bieten aber eine neue technologische Basis dafür und das aktuell große Interesse gibt diesen Bestrebungen neuen finanziellen Schub

Eine für KI-Agenten relevante Weiterentwicklung großer Sprachmodelle sind sogenannte große Aktionsmodelle (Large Action Models). Während große Sprachmodelle darauf spezialisiert sind, Texte zu verstehen und zu generieren (indem sie auf der Basis vorangegangener Textteile vorhersagen, welche Worte als nächstes kommen) sind große Aktionsmodelle auf Aktionen trainiert. Das heißt, sie sind gezielt darauf trainiert, Handlungen im digitalen wie im physischen Raum durchzuführen, indem sie zum Beispiel lernen, welche Elemente in einem Programm klickbar sind und welche Schritte zum gewünschten Ergebnis führen – bspw. das Übertragen von Daten in eine Excel-Tabelle (Wang et al. 2025). Ähnlich wie große Sprachmodelle eine große Menge an Textdaten benötigen, brauchen große Aktionsmodelle umfangreiche Datensätze über Nutzer:innen-Intentionen (um Ziele besser zu verstehen), Kontext und gewünschte Aktionen. Oft brauchen sie außerdem eine Form von Gedächtnis und eine Möglichkeit für Nutzer:innen, Feedback zu geben (Wang et al. 2025).

Insgesamt versprechen KI-Agenten, generative KI ein gutes Stück nützlicher zu machen, und sie haben das Potential, gerade Routineaufgaben vollständig zu automatisieren. Gleichzeitig wirft der Anspruch, Aktionen möglichst eigenständig auszuführen, auch einige Fragen auf.

Erstens bauen auch die neuen KI-Agenten auf der Technologie der großen Sprachmodelle auf. Diese haben das *grundlegende Problem sogenannter „Halluzinatoren“*, die zwar im Laufe der letzten Jahre reduziert, aber dennoch nicht grundsätzlich überwunden wurden. Gerade das Planen über mehrere Schritte hinweg verlangt logisches Denken – nicht gerade eine Stärke der generativen KI (Petrov et al. 2025). Auch in letzter Zeit populär gewordene „denkende“ Modelle (mittels sog. Chain-of-Thought-Ansätze) scheinen so zu „tun-als-ob“. Diese Modelle „denken“ voraus, bevor sie Nutzer:innen eine Antwort liefern – mit dem Ziel, dabei selber Widersprüchlichkeiten zu erkennen und korrigieren zu können. Forscher:innen haben aber gezeigt, dass oft die Denkschritte vor dem Ausgeben einer Antwort nicht konsistent mit der Antwort sind.⁵ Bei KI-Agenten, die auch in der virtuellen oder gar physischen Realität Handlungen setzen wollen, kann diese Unzuverlässigkeit unmittelbarer Probleme verursachen als z. B. bei Chatbots. Bedienen KI-Agenten außerdem Roboter, kann mangelhafte Zuverlässigkeit auch zu Sachschäden und Körperverletzungen führen.

*Generative KI
gibt alten KI-Themen
neuen Schub*

*Große Aktionsmodelle
zum Lernen von
Verhalten statt Text*

*Größere Nützlichkeit
wirft neue Fragen auf*

*Logik ist keine Stärke
generativer KI*

*Mangelnde
Verlässlichkeit von
generativer KI als
Herausforderung*

⁵ anthropic.com/research/reasoning-models-dont-say-think; siehe auch: nytimes.com/2025/05/05/technology/ai-hallucinations-chatgpt-google.html.

Zweitens wird die Frage der Privatsphäre und Datensicherheit bei Anwendungsfällen wie z. B. automatischen Buchungen, Terminabstimmungen und Zahlungen besonders relevant: Oft ist für eine sinnvolle Nutzung dieser Anwendungen der Zugriff auf hochpersönliche und sensible Daten (Adressbuch, Terminkalender, E-Mails, Zahlungsdaten) notwendig. Sollten diese Daten in falsche Hände geraten, kann dies zu großen Schäden führen. Immerhin gibt es teilweise bereits Ansätze, das Risiko zu minimieren: Durch das Ausführen von KI (und damit der Datenverarbeitung) am persönlichen Gerät der Nutzerin/des Nutzers (Smartphone, Laptop) bzw. der Unternehmensinfrastruktur ist es zunehmend möglich zu gewährleisten, dass Daten das Gerät bzw. Unternehmen nicht verlassen. Diese Entwicklung wird auch als Edge AI oder AI on Device diskutiert und wird durch auf KI spezialisierte Recheneinheiten auf vielen modernen Geräten ermöglicht.

Zugriff auf sensible Daten birgt Risiken

Ein drittes Risiko ist die Steuerung der Anreize von KI-Agenten: Wie können Nutzer:innen wirklich darauf vertrauen, dass ein KI-Agent z. B. wie angewiesen oder versprochen den günstigsten Flug bucht – und nicht etwa über ein Unternehmen, mit dem der KI-Anbieter geschäftliche Verbindungen pflegt?

Edge AI und KI on Device als Fortschritt für Datensicherheit

Letztlich stellt sich schnell auch die Frage der Haftung: Wer kommt für den Schaden auf, wenn z. B. eine Zahlung per KI-Agent getätigt wurde, die von der/dem Nutzer:in nicht intendiert wurde? Welche Verträge können per KI-Agent überhaupt rechtswirksam abgeschlossen werden?

Fragliche Kontrolle über Anreize für die KI

RELEVANZ DES THEMAS FÜR DAS PARLAMENT UND FÜR ÖSTERREICH

KI-Agenten als Weiterentwicklung generativer KI weisen eine hohe Dynamik auf. Gleichzeitig werfen sie einige Fragen besonders in Bezug auf Regulierung auf. So ist nicht ganz klar, welche Rechtsnormen auf KI-Agenten anwendbar sind. Eindeutig sind sie eine Form von Künstlicher Intelligenz i. S. d. AI-Acts der EU. In der Risikoklassifizierung fallen sie aber vermutlich nicht unter Hochrisiko-KI – zumindest nicht generell (Bostoen & Krämer 2024). Je nach Ausgestaltung der KI-Agenten könnten sie aber unter die verbotenen KI-Praktiken fallen, etwa wenn sie die Situation vulnerabler Personen(gruppen) ausnutzen (Art. 5(b) AI-Act).

Hohe Entwicklungsdynamik mit Relevanz für Österreich als Technologienehmer

Im EU-Gesetz über digitale Märkte (Digital Markets Act, DMA) sind explizit „virtuelle Assistenten“ als zentraler Plattformdienst definiert, und zwar als „eine Software, die Aufträge, Aufgaben oder Fragen verarbeiten kann, auch aufgrund von Eingaben in Ton-, Bild- und Schriftform, Gesten oder Bewegungen, und die auf der Grundlage dieser Aufträge, Aufgaben oder Fragen den Zugang zu anderen Diensten ermöglicht oder angeschlossene physische Geräte steuert“ (Art. 2(12) DMA). Damit fallen KI-Agenten unter eine ähnliche Regulierung wie Suchmaschinen und Online-Marktplätze. Obwohl der DMA nicht in Hinblick auf KI-Agenten von heute und ihren Fähigkeiten entwickelt wurde, auf Sprachassistenten wie Siri oder Alexa mit vergleichsweise begrenzten Fähigkeiten abzielte, ist hier zumindest ein Grundstein gelegt, um Anbieter von KI-Agenten potentiell als Torwächter (Gatekeeper) – bei entsprechender Marktmacht – zu regulieren.

AI-Act: Vulnerable Personen bedenken

Virtuelle Assistenten durch Digital Markets Act reguliert

Eine zentrale Frage bleibt, ob Nutzer:innen unter der aktuellen Rechtslage ausreichend vor Fehlfunktionen von KI-Agenten geschützt sind und ob die Haftungsfrage für KI-Agenten durch neue Rechtsakte präzisiert werden sollte. Bei Fehlfunktion (auch durch Fehlinterpretation der Nutzer:innenwünsche) können, wie bereits oben ausgeführt, potentiell erhebliche Schäden für den Einzelnen entstehen. Aber auch für Unternehmen stellt sich die Frage, ob Verträge, die durch KI-Agenten abgeschlossen werden, rechtswirksam sind. Hier gibt es daher Klärungsbedarf.

Die anhaltend hohe Dynamik im Bereich KI erschwert es teilweise, einen fundierten Überblick über aktuelle Entwicklungen zu behalten. Besonders im Bereich Haftung und Verbraucher:innenschutz gilt es, rasch einen umfassenden Überblick zu schaffen und mögliche Handlungsoptionen zu identifizieren. Sollten keine neuen Rechtsnormen notwendig sein, so sind mindestens klare Empfehlungen und Leitlinien seitens der KI-Servicestelle – für Unternehmen, KI-Anbieter und Verbraucher:innen – anzuraten.

*Hohes
Schadenspotential
für Einzelne und
Unternehmen*

*Hohe Dynamik
wirft Fragen der
Regulierung auf*

*Tätigwerden der KI-
Servicestelle angezeigt*

VORSCHLAG WEITERES VORGEHEN

Vor diesem Hintergrund wäre ein kontinuierliches Monitoring der Entwicklungen im Bereich KI-Agenten bzw. allgemein der KI geboten. Ein erster Schritt in diese Richtung wäre eine Kurzstudie, die die in diesem Text aufgeworfenen Entwicklungsoptionen und Fragen vertieft und darüber hinaus einen solchen Monitoringprozess technisch-juristischer Themen definieren könnte.

ZITIERTE LITERATUR

Bostoen, F., & Krämer, J. (2024). *AI Agents and Ecosystems Contestability*. Centre on Regulation in Europe.

Edwards, B. (2025, 7. März). *What does „PhD-level“ AI mean? OpenAI’s rumored \$20,000 agent plan explained*. Ars Technica. arstechnica.com/ai/2025/03/what-does-phd-level-ai-mean-openais-rumored-20000-agent-plan-explained/.

Heikkilä, M. (2025, 12. Februar). *Sam Altman prophezeit: KI-Agenten könnten deinen Alltag erleichtern – aber wie genau?* t3n. t3n.de/news/sam-altman-ki-agenten-alltag-erleichtern-aber-wie-1644963/.

Kelbert, P., Siebert, J., & Jöckel, L. (2024, 19. März). *Large action models (LAMs), tool learning, function calling and Agents*. Blog des Fraunhofer IESE. iese.fraunhofer.de/blog/large-action-models-multi-agents/.

Petrov, I., et al. (2025). *Proof or Bluff? Evaluating LLMs on 2025 USA Math Olympiad* (arXiv:2503.21934). arXiv. doi.org/10.48550/arXiv.2503.21934.

Wang, L., et al. (2025). *Large Action Models: From Inception to Implementation* (arXiv:2412.10047). arXiv. doi.org/10.48550/arXiv.2412.10047.

Yang, J., et al. (2025). *Magma: A Foundation Model for Multimodal AI Agents* (arXiv:2502.13130). arXiv. doi.org/10.48550/arXiv.2502.13130.

PLASTIK UND MENSCHLICHE GESUNDHEIT



© CC0 (Raspopova Marina, Thomas Bayer/unsplash)

ZUSAMMENFASSUNG

Mikro- und Nanoplastik ist allgegenwärtig und wird von Menschen vor allem über die Atmung und die Nahrung aufgenommen. Das Forschungsfeld zu gesundheitlichen Auswirkungen beim Menschen ist relativ jung, und es bestehen einige methodische Herausforderungen. Trotzdem häufen sich Hinweise auf erhebliche gesundheitliche Auswirkungen. Die meisten Mikroplastikpartikel werden ausgeschieden, doch ein Teil gelangt über Darm oder Lunge in den Blutkreislauf und kann sich in Blutgefäßen, Gehirn und Organen ablagnern. Diese Ablagerungen können Entzündungen verursachen und werden mit einem erhöhten Risiko für Herzinfarkt, Schlaganfall oder Tod assoziiert. Mikroplastik steht im Zusammenhang mit Krebs, Asthma, neurologischen Störungen, Darmerkrankungen und Immunreaktionen, die Autoimmunerkrankungen begünstigen können.

ÜBERBLICK ZUM THEMA

Die Verschmutzung durch Mikro- und Nanoplastik ist ein globales Problem, da kleinstteiliges Plastik in Böden, Städten, Flüssen, Ozeanen, in der Luft, auf den höchsten Bergen, im antarktischen Eis und letztlich auch im Menschen nachgewiesen wurde. Mikroplastik entsteht entweder absichtlich in der Industrie, z. B. in Form von Perlen oder Pellets zur Weiterverarbeitung, oder durch die Zersetzung und Verwitterung von Kunststoffprodukten wie Reifen. In einigen Kosmetika ist Mikroplastik laut EU-Verordnung verboten, in anderen gibt es lange Übergangsfristen für das Verbot, teilweise bis weit in die 2030er¹. Die meisten Kunststoffe sind kaum oder nur sehr langsam biologisch abbaubar, was dazu führt, dass die Umweltbelastung durch Plastik mit zunehmender Kunststoffproduktion steigt.² Mikroplastik wird generell als Teilchen einer Größe von einem Mikrometer (ein Tausendstel mm) bis fünf Millimeter definiert, darunter spricht man von Nanoplastik. **Mikroplastik** und dessen Umweltwirkungen wurde bereits im Monitoring (2019) in Form eines generellen Überblicks thematisiert.

Seit Jahrzehnten untersuchen Forschende die biologischen Auswirkungen von Mikro- und Nanoplastik, wobei sie sich hauptsächlich auf Nager und menschliche Zellen konzentrierten. Studien an Nagetieren zeigen, dass Mikroplastik zahlreiche Organe wie Darm, Lunge, Leber sowie das Fortpflanzungs- und Nervensystem schädigen kann.³ Die ersten Nachweise von Mikroplastik im Darm des Menschen fanden in einer Studie des Wiener AKHs 2019 statt. Seitdem hat sich das junge Forschungsfeld weiterentwickelt und versucht Belastung, Auswirkungen und Risiken dieser Teilchen auf die Gesundheit des Menschen zu klären. Es gibt jedoch noch zu wenige Studien, um derzeit abschließende Aussagen zu machen. Kürzlich wurden in verschiedenen menschlichen Geweben und Organen Plastik gefunden, darunter Gehirn, Blut, Lunge, Plazenta und Muttermilch.² Auch in Herz und Knochenmark wurde Plastik nachgewiesen (Guo, 2024). Der Nachweis von Nanokunststoffen steckt noch in den Kinderschuhen. Aufgrund ihrer geringen Größe und der unterschiedlichen Umgebungen, in denen sie vorkommen, ist es besonders schwierig, sie zu identifizieren und zu messen. So gibt es zum Beispiel derzeit keine Methode zum Nachweis von Nanopartikeln in der Lunge (OPECST, 2024). Andere Limitationen der Studienmethodik betreffen die Wahl des Untersuchungsgegenstandes. So werden z. B. die meisten Studien an den kommerziell am häufigsten verwendeten Partikeln durchgeführt (etwa Polystyrol), was nicht den tatsächlich in der Umwelt vorkommenden Partikeln entspricht. Außerdem müssen Laborprozesse angepasst werden, denn aufgrund der Allgegenwärtigkeit von Plastik auch in Laboren kann die Kontamination von Proben nicht immer ausgeschlossen werden. Die meisten Studien werden mit gesunden Personen durchgeführt, bei bestimmten Darmerkrankungen haben aber Betroffene sehr viel höhere Mikroplastikwerte und sollten in zukünftigen Studien eingeschlossen werden (OPECST, 2024).

Trotz der methodischen Einschränkungen deuten vermehrte rezente Forschungsergebnisse teils auf erhebliche Gesundheitsrisiken hin. Sicher ist, dass wir allgegenwärtiges Mikro- und Nanoplastik vor allem über die Atemluft und die Nahrung aufnehmen. Mikroplastik in der Luft ist in Gebieten mit hoher menschlicher

*Mikro- und
Nanoplastik:
weltweite Verbreitung*

*Junges Forschungsfeld
zu Gesundheitsrisiken
beim Menschen*

*Aufnahme über
Atmung ...*

¹ ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip_23_4581.

² umweltbundesamt.at/umweltthemen/stoffradar/mikroplastik.

³ nature.com/articles/s41591-024-02968-x#article-info.

Besiedlung und Aktivität, insbesondere in Innenräumen, häufiger anzutreffen. Zu den Hauptquellen für Mikroplastik in der Luft gehören synthetische Fasern, Stadstaub und Reifenabrieb (Ezhava et al., 2025). Für Paris wurde gezeigt, dass 3-10 Tonnen Plastik im Jahr in die Luft emittiert werden, der Großteil als Fasern, die beispielsweise aus Textilien stammen (s. *Textilrecycling*). Menschen atmen dort im Jahr etwa 30 Millionen Plastikpartikel ein (OPECST, 2024), die damit ein Teil des Feinstaubproblems sind. Die Toxizität von Plastikpartikeln hängt oft von deren Form ab. Fasern sind z. B. problematisch, weil sie durch ihre Länge nicht oder nur teilweise von Fresszellen des Immunsystems aufgenommen werden (Phagocytose) und damit persistente Entzündungen hervorrufen können (OPECST, 2024). Diese Dynamik ist etwa auch aus der Asbestdiskussion bekannt, wo vor allem nadelförmiger Asbest zu Lungenkrebs führte.

Über die Nahrung nehmen wir etwa gleich viel Plastik auf wie über die Atmung. Tiere und sogar Pflanzen nehmen Plastikpartikel auf, die so in die menschliche Nahrungskette gelangen, sich dort anreichern und schädliche Chemikalien und Krankheitserreger enthalten. Die Verwendung von Futter- und Düngemitteln, die Mikroplastik enthalten, kann Nutztiere kontaminieren. Dies bedeutet, dass Rückstände von Mikroplastik in Produkte gelangen können, die von diesen Tieren stammen, wie Fleisch, Milchprodukte und andere tierische Erzeugnisse aus landwirtschaftlichen Betrieben (Zeng, 2025). Besonders gut sind Effekte bei Meereslebewesen erforscht, hier ruft Mikroplastik Gewebeschäden, oxidativen Stress, Veränderungen der Genexpression des Immunsystems, Neurotoxizität, Wachstumsstörungen und Verhaltensänderungen hervor (Grattagliano, 2025). Mikroplastik wurde in Fischen sowie auch in Lebensmitteln wie Meeresfrüchten, Salz, Zucker, Honig, Obst, Gemüse, Reis, Trinkwasser und Bier nachgewiesen.⁴ Eine Studie zeigte, dass Flüssigkeiten in Plastikflaschen etwa 250.000 Partikel pro Liter enthalten, die meisten davon als Nanoplastik (OPECST, 2024). Sogar beim Kaugummikauen lösen sich Tausende winziger Plastikpartikel.⁵ Die gängigsten Polymere in unserer Nahrung sind Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) und Polystyrol (PS). Weitere Beispiele sind Polyethylenterephthalat (PET), Polyvinylchlorid (PVC) und Polymethylmethacrylat (PMMA) (Bocker, 2025).

Eine Studie ergab, dass 25 Prozent der 14.000 Chemikalien in Kunststoffen, die mit Lebensmitteln in Berührung kommen (z. B. Verpackung), im menschlichen Körper nachweisbar sind. In einer anderen Studie wurde festgestellt, dass 61 Kunststoffe, die mit Lebensmitteln in Berührung kommen, ein das Brustkrebsrisiko erhöhen können (OPECST, 2024).

Es wird auch die Aufnahme von Plastik über die Haut diskutiert. Die Aufnahme erfolgt allerdings eher in geringerem Ausmaß über Haarwurzeln und Schweißdrüsen. Mikroplastik, insbesondere synthetische Fasern, die kleiner als 25 µm sind, können in die Hautporen eindringen und durch Aktivierung verschiedener Hautzellen Immunreaktionen auslösen. Dieser Prozess kann die Barrierefunktion der Haut beeinträchtigen, wobei die individuelle Anfälligkeit mit der Porengröße variiert (Ezhava et al., 2025).

... über Nahrung ...

... und Haut

⁴ ages.at/mensch/ernaehrung-lebensmittel/rueckstaende-kontaminanten-von-a-bis-z/mikroplastik.

⁵ spektrum.de/news/mikroplastik-ein-kaugummi-gibt-tausende-mikroplastikpartikel-ab/2257702.

Die meisten Plastikteilchen werden wieder ausgeschieden, aber ein Teil gelangt durch Darmwand oder Lunge in den Blutkreislauf und lagert sich in Blutgefäßen, im Hirn und in anderen Organen ab. Dieser Ablagerungen können Entzündungen verursachen. Eine Studie zeigt, dass Patient:innen mit Ablagerungen in der Hals-schlagader (Plaques), die Mikro- und Nanokunststoffe (MNPs) enthalten, ein erhöhtes Risiko für Herzinfarkt, Schlaganfall oder Tod haben (Marfella, 2024).

Eine aufsehenerregende Studie zeigte, dass sich Mikroplastik im Hirngewebe bis zu 30 Mal mehr als in der Leber- und Niere ablagert, und dass Gehirnproben von Verstorbenen aus dem Jahr 2024 etwa 50 % mehr Mikroplastik aufwiesen als jene aus dem Jahr 2016 (Nihart, 2025).

Insgesamt kann die Anreicherung von Kunststoffen im menschlichen Körper zu verschiedenen Gesundheitsproblemen führen. Zu diesen gehören verschiedene Krebsarten wie Blut- oder Lungenkrebs, Asthma, neurologische Symptome wie Müdigkeit und Schwindelgefühl oder entzündliche Darmerkrankungen und Störungen der Darmflora. Die meisten bisher durchgeführten Studien haben bestätigt, dass Nano- und Mikroplastik das Absterben von Zellen auslösen kann sowie erbgut- und zellschädigende Wirkungen aufweist (Winiarska, 2024). Mikroplastik kann beim Menschen Immunreaktionen auslösen, die möglicherweise zu Autoimmunkrankheiten oder einer verminderten Immunität bei gefährdeten Personen führen. Im Laufe der Zeit könnten Zellschäden und Veränderungen der Immunfunktion dazu führen, dass der Körper sich selbst angreift. Es sind jedoch weitere Forschungsarbeiten erforderlich, um diese Auswirkungen auf das Immunsystem und ihre potenziellen Schäden für das Nervensystem zu verstehen (Ezhava et al., 2025).

Darüber hinaus enthalten Kunststoffe oft hormonell wirksame Weichmacher (endokrine Disruptoren) und auch viele andere oft nicht deklarierungspflichtige Zusatzchemikalien, da Kunststoffrezepturen, etwa bei Autoreifen, Firmengeheimnisse sind. Zu den endokrinen Disruptoren gehören neben Weichmachern persistente organische Schadstoffe, Schwermetalle oder Pestizide (Prähäuser, 2024). Tolerierbare Grenzwerte einzelner Substanzen im menschlichen Körper ändern sich nach Studienlage. Nahezu die gesamte Bevölkerung überschreitet den jetzt den zulässigen Grenzwert für den bekanntesten Weichmacher Bisphenol A, seit dieser 2023 neuer Evidenzlage folgend, um das 20.000-fache gesenkt wurde (OPECST, 2024). Zusätzlich sind Mikroplastikpartikel Vektoren für Krankheitserreger und (krebsfördernde) Schadstoffe aus der Umwelt, da sie diese an der wasserabweisenden Oberfläche des Plastiks anlagern und mitaufgenommen werden.

Es gibt Hinweise darauf, dass Mikroplastik die Gesundheit der männlichen Fortpflanzungsorgane beeinträchtigen kann und Risiken wie oxidativen Stress, hormonelle Störungen, Entzündungen und Zellschäden mit sich bringt. Die begrenzte Anzahl von Humanstudien unterstreicht jedoch den dringenden Bedarf an umfassender Forschung, um den Einfluss von Mikroplastik auf die männliche Fruchtbarkeit zu klären (Kumar & Mangla, 2025). Bisher ging man davon aus, dass die Plazenta als Schutzbarriere für den Fötus fungiert. Neuere Studien zeigen, dass die Plazenta auch Kunststoffpartikel anreichern kann, die ihre Funktion beeinträchtigen könnten. Auch könnten diese Partikel die Grenzfläche zwischen Mutter und Fötus durchdringen und den sich entwickelnden Fötus gefährlichen Chemikalien aussetzen, die in Kunststoffen enthalten sind, wie z. B. endokrin wirksame Substanzen und **persistente organische Schadstoffe** (Anifowoshe et al., 2025).

*Mikro- und
Nanoplastik gelangt
in den Blutkreislauf
und lagert sich in
Organen ab*

*Verschiedene
Krebsformen, Asthma,
neurologische
Störungen und
Darmerkrankungen*

*Hormonell wirksame
Weichmacher und
unbekannte
Zusatzchemikalien*

*Probleme für die
Fortpflanzung und
für Fötten*

RELEVANZ DES THEMAS FÜR DAS PARLAMENT UND FÜR ÖSTERREICH

Plastikverschmutzung ist allgegenwärtig und Menschen können im Alltag eine Exposition nicht verhindern, nur reduzieren. Viele Fragen zur Wirkung und Toxizität sind bisher ungeklärt, auch wenn es deutliche Hinweise auf bedenkliche Gesundheitsauswirkungen gibt. In einer solchen Situation sollte das Vorsorgeprinzip⁶ gelten, um Belastungen der Bevölkerung weitgehend zu reduzieren. Das Vorsorgeprinzip ist zwar in der europäischen REACH gesetzlich verankert, wird aber unzureichend umgesetzt, da Plastik zu viele unregulierte Substanzen enthält, die Tests schwierig machen. Nur 161 Kunststoffchemikalien wurden als als ungefährlich eingestuft; diesen Bewertungen liegen aber oft nur unzureichende Daten oder nur zum Teil Gefahrenkriterien zugrunde. Für mehr als 10.000 Chemikalien, die in Kunststoffen enthalten sind, gibt es überhaupt keine Risikoinformationen. Weltweit fallen lediglich 6 % dieser Chemikalien unter die Regelungen internationaler Verträge wie der Basel und der Stockholm Convention und des Montreal Protokolls (OPECST, 2024). Es gibt immer noch erhebliche Lücken in unserem Verständnis der gesundheitlichen Auswirkungen von Nano- und Mikroplastik unter realen Umweltbedingungen, insbesondere in Bezug auf die Langzeitexposition, den Einfluss der Partikelgröße, die chemische Zusammensetzung und die Wechselwirkungen mit anderen Umweltschadstoffen (Bocker & Silva, 2025). Obwohl die Toxizität von Chemikalien immer besser dokumentiert ist, sind die Daten über ihre Persistenz, Bioakkumulation und Mobilität weiterhin begrenzt. Diese Faktoren werden bei Risikobewertungen nicht konsequent berücksichtigt (OPECST, 2024).

Nach zweijährigen Verhandlungen konnten sich die UN-Mitgliedsstaaten bei den Gesprächen 2024 in Busan, Südkorea, nicht auf einen globalen Vertrag zur Beendigung der Plastikverschmutzung einigen. Der Widerstand von ölpproduzierenden Ländern und Kunststoffherstellern verhinderte das. Das Treffen wurde unterbrochen, die Verhandlungen sollen 2025 wieder aufgenommen werden.⁷ EU-weit ist der Einsatz von Mikroperlen in Kosmetika seit 2023 verboten, auch wird versucht, der Kontamination von Futtermitteln durch Verpackungsmaterialien vorzubeugen und Kontrollen durchzuführen.⁸ Die USA verfügen über Biomonitoring-Daten, wie stark die Bevölkerung Kunststoffchemikalien ausgesetzt ist. Eine Studie schätzt die jährlichen gesellschaftlichen Folgekosten von drei Schlüsselchemikalien auf 675 Milliarden Dollar, obwohl nur ein oder zwei Gesundheitsauswirkungen pro Chemikalie untersucht wurden (OPECST, 2024). Der effizienteste Weg, die Entstehung von Mikroplastik einzudämmen, ist die Minimierung von Kunststoffabfällen. Möglichkeiten, dies zu erreichen, sind die Verringerung der Kunststoffproduktion, die Wahl von Alternativen wie Glas, Pappe oder biologisch abbaubaren Materialien und die Wiederverwendung von weggeworfenem Kunststoff zur Herstellung neuer Produkte (Ezhava et al., 2025).

*Vorsorgeprinzip
rechtlich verankern*

*Globaler Vertrag gegen
Plastikverschmutzung
bisher verhindert*

⁶ epub.oeaw.ac.at/0xc1aa5572_0x003ebf2f.pdf.

⁷ environment.ec.europa.eu/news/eu-regrets-inconclusive-global-plastics-treaty-2024-12-02_en.

⁸ ages.at/mensch/ernaehrung-lebensmittel/rueckstaende-kontaminanten-von-a-bis-z/mikroplastik.

VORSCHLAG WEITERES VORGEHEN

Eine Studie der TA-Einrichtung des französischen Parlaments (OPECST 2024) formuliert neun klare Empfehlungen an die Verhandler:innen des globalen Plastikabkommens, die ihrerseits auch weitreichende Auswirkung auf die nationale Gesetzgebung hätten. Eine österreichspezifische TA-Studie könnte darauf aufbauend überprüfen, welche Empfehlungen für den österreichischen Kontext relevant sind, beziehungsweise wie diese zu spezifizieren sind.

Österreichisches
Follow-up zur
französischen
TA-Studie

ZITIERTE LITERATUR

Anifowoshe, A. T., et al. (2025). Microplastics: A threat to Fetal-placental unit and Reproductive systems. *Toxicology Reports*, 14, 101938, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214750025000563>.

Bocker, R., & Silva, E. K. (2025). Microplastics in our diet: A growing concern for human health. *Science of The Total Environment*, 968, 178882, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969725005170>.

Ezhava, S. R., et al. (2025). Hazards of microplastics on human health and its mitigation strategies. *Toxicology and Environmental Health Sciences*, <https://doi.org/10.1007/s13530-025-00249-9>.

Grattaglione, A., et al. (2025). An Overview on Microplastics Hazards to the Marine Ecosystem and Humans' Health. *Water*, 17(7). doi:10.3390/w17070916.

Guo, X., et al. (2024). Discovery and analysis of microplastics in human bone marrow. *Journal of Hazardous Materials*, 477, 135266, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389424018454>.

Kumar, N., & Mangla, M. (2025). Microplastics and impaired male reproductive health—exploring biological pathways of harm: a narrative review. *Biology of Reproduction*, ioaf054, <https://doi.org/10.1093/biolre/ioaf054>.

Marfella, R., et al. (2024). Microplastics and Nanoplastics in Atheromas and Cardiovascular Events. *New England Journal of Medicine*, 390(10), 900-910, <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2309822>.

Nihart, A. J., et al. (2025). Bioaccumulation of microplastics in decedent human brains. *Nature Medicine*, 31(4), 1114-1119, <https://doi.org/10.1038/s41591-024-03453-1>.

OPECST (2024). *Les impacts des plastiques sur la santé humaine (l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, Assemblée nationale, France)*, https://www.assemblee-nationale.fr/dyn/17/rapports/ots/l17b0560_rapport-information.

Prähauser, L., et al. (2024). Ökotoxikologische Risikobewertung von Nano- und Mikroplastik (NanoTrust-Dossier Nr. 066 – Dezember 2024), <https://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier066.pdf>.

Winiarska, E., et al. (2024). The potential impact of nano- and microplastics on human health: Understanding human health risks. *Environmental Research*, 251, 118535, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935124004390>.

Zeng, H., et al. (2025). Microplastics in animal-derived products and their potential risks to human health. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 185, 118187, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016599362500055X>.

HIRNORGANOIDE (AKTUALISIERT)



© CC0 (Robina Weermeijer/unsplash)

ZUSAMMENFASSUNG

Die Erzeugung dreidimensionaler Gebilde aus menschlichen Stammzellen, die derzeit nur in Teilen Strukturen und funktionelle Merkmale des Gehirns ausbilden – sogenannte Hirnorganoide – haben in den letzten Jahren neue Modellsysteme zur Erforschung der Gehirnentwicklung sowie von neurologischen Krankheiten ermöglicht. Es werden jedoch auch ethische Probleme diskutiert, die sich insbesondere aus der Entwicklung von Bewusstsein und Schmerzempfindung solcher Organoide in Gewebekultur oder nach deren Transplantation in das Gehirn von Tieren ergeben könnten. Aufgrund der fehlenden Komplexität aktueller und in näherer Zukunft erzeugbarer Hirnorganoide dürften diese Probleme auf absehbare Zeit kaum relevant werden oder zu gesetzgeberischem Handlungsbedarf führen. In Bezug auf mögliche Transplantationen in vorgeburtliche Stadien – und der damit verbundenen Möglichkeit einer weitergehenden Entwicklung und funktionellen Integration menschlicher Zellen in das Tiergehirn – erscheint es dagegen ratsam zu prüfen, ob die derzeitigen Vorschriften zur Beurteilung und Durchführung solcher Forschung ausreichen.

Hirnorganoide:
*Gebilde aus
menschlichen
Stammzellen, die
Teilstrukturen des
Gehirns abbilden*

ÜBERBLICK ZUM THEMA

Durchbrüche zur Erzeugung von Stammzellen aus Körperzellen sowie Verbesserungen, um die Entwicklung von Stammzellen zu Zelltypen des zentralen Nervensystems zu induzieren, haben in den letzten zehn bis fünfzehn Jahren neue Möglichkeiten zur Erforschung der Entwicklung des menschlichen Gehirns und von neurologischen Krankheiten eröffnet. Insbesondere die Herstellung derzeit nur einige Millimeter großer, dreidimensionaler Gebilde im Labor, die Teilstrukturen des Gehirns – mit wichtigen zellulären und molekularen Merkmalen – ausbilden, haben zu diesen Möglichkeiten beigetragen (Birtele et al., 2024; Kelley & Paşa, 2022). Diese in Zellkulturschalen („*in vitro*“) aus menschlichen embryonalen Stammzellen (ES-Zellen) oder über aus Körperzellen generierten, sogenannten induzierten pluripotenten Stammzellen (iPS-Zellen) entstehenden Gebilde werden als Hirnorganoide oder neurale bzw. zerebrale Organoide bezeichnet. Dabei können Organoide erhalten werden, die Zelltypen und (Teil-)Strukturen verschiedener Gehirnbereiche ausbilden oder solche, die in dieser Hinsicht nur einzelnen Gehirnregionen ähneln. Erstere entstehen durch reine Selbstorganisationsprozesse, letztere durch Zugabe bestimmter Signalmoleküle. Weiterhin können zusammengesetzte Strukturen durch die Kombination regionenspezifischer Hirnorganoide generiert werden, sogenannte Assembloide. Schließlich können Hirnorganoide für weitere Untersuchungen (z. B. von weiteren Entwicklungsprozessen) in das Gehirn von Tieren (Mäuse, Ratten, Makaken) implantiert werden. In einem Experiment mit jungen Ratten integrierten sich die Organoide strukturell und funktional soweit in Teile des Rattengehirns, dass über die Aktivierung menschlicher Nervenzellen belohnungssuchendes Verhalten der Ratten ausgelöst werden konnte (Revah et al., 2022).

Hirnorganoide unterscheiden sich in mehreren wichtigen Punkten vom menschlichen Gehirn. So beträgt ihr Durchmesser nur wenige Millimeter. Zudem weisen sie ca. 40.000mal weniger Zellen auf als das Gehirn mit seinen ca. 100 Milliarden Zellen (Nervenzellen und andere Zelltypen) und enthalten keine Blutgefäße für eine weiterreichende Versorgung mit Sauerstoff und Nährstoffen. Des Weiteren fehlen Hirnorganoide derzeit Merkmale vieler Gehirnregionen (wie bestimmte Organisationsmuster und Verbindungsbahnen) sowie die gesamte Vielfalt der verschiedenen Zelltypen des Gehirns. Sie können deshalb die komplexen Verbindungen zwischen Gehirnregionen und Schaltkreise, die der Informationsverarbeitung im Gehirn zugrunde liegen, nicht abbilden. Schließlich reifen die Zellen in den Organoide bisher nicht über Stadien hinaus, die sich typischerweise in Embryonalstadien oder in Gehirnen Neugeborener finden, was ihren Nutzen für die Analyse von Vorgängen des reifen menschlichen Gehirns einschränkt (Birtele et al., 2024; Kelley & Paşa, 2022; NAS, 2021, S. 28 ff.).

Dennoch ermöglichen Hirnorganoide bereits heute wichtige Erkenntnisse und Anwendungen (Birtele et al., 2024; Leopoldina, 2022, S. 21 ff.; NAS, 2021, S. 28 ff.). Hierzu gehören zum einen die Erforschung der normalen menschlichen Hirnentwicklung und neurologischer Krankheiten, insbesondere solcher, die in Tiermodellen nicht adäquat untersucht werden können. So wurden unter Verwendung von iPS-Zellen (z. B. von Patient:innen), die mit neurologischen Krankheiten assoziierte Mutationen trugen, molekulare Mechanismen verschiedener Krankheiten identifiziert. Zu solchen Krankheiten gehören die schwere idiopathische

*Hirnorganoide
in vitro oder
transplantiert in Tiere*

*Limitationen und
wichtige Unterschiede
zum Gehirn*

*Modellsysteme für
Gehirnentwicklung,
neuronale Krankheiten
und Entwicklung von
Medikamenten*

Autismus-Spektrum-Störung, schwere neurologische Entwicklungsstörungen (z. B. das Timothy-Syndrom) oder neurodegenerative Erkrankungen wie Morbus Alzheimer. Weiterhin haben Hirnorganoide entscheidend zum Verständnis beigetragen, wie das Zika-Virus Mikrozephalie bei Säuglingen auslösen kann. Zum anderen bieten Hirnorganoide ein System sowohl für die Identifizierung von Zielgenen für Behandlungen als auch zur Untersuchung potenzieller Toxine oder Medikamente (Birtele et al., 2024; NAS, 2021, S. 31). So wurden Hirnorganoide schon genutzt, um mögliche neue Medikamente für neuropsychiatrische Erkrankungen zu finden, wie die Parkinson- und die Alzheimer-Krankheit (Birtele et al., 2024; Leopoldina, 2022, S. 26). Hirnorganoide aus iPS-Zellen verschiedener Patient:innen könnten darüber hinaus Erkenntnisse zur individuellen Wirkungsweise mancher Medikamente liefern.

Die Forschung mit menschlichen Hirnorganoiden kann somit zum Verständnis von und zur Entwicklung von Behandlungsmöglichkeiten für schwere Erkrankungen beitragen. Weiterhin könnte auch die Zahl bestimmter Tierversuche reduziert werden, etwa zur Testung von Substanzen gegen Krankheiten, die sich in Tiermodellen nicht gut nachstellen lassen. Dem gegenüber werden jedoch vor allem in bioethischen Fachkreisen auch einige mögliche ethische Probleme dieser Forschung sowie potenzielle rechtliche Implikationen diskutiert (Kataoka et al., 2025).

In Bezug auf Experimente mit Hirnorganoiden in Gewebekulturschalen betreffen ethische Fragen insbesondere potenzielle zukünftige Entwicklungen hin zu größeren und strukturell wesentlich komplexeren Hirnorganoiden.¹ Es wird befürchtet, dass diese höheren Stufen von Bewusstsein bzw. Empfindungsfähigkeit ausbilden könnten – bis hin zu Ausprägungen, die nur bei Menschen existieren könnten. Höhere Bewusstseinsebenen umfassen etwa die Selbstwahrnehmung, Fähigkeiten, langfristige Pläne zu entwerfen, oder die subjektive Wahrnehmung von Schmerz bzw. Leid. Allerdings gibt es zum einen kein einheitliches Verständnis von „Bewusstsein“ und es ist unklar, ob bzw. welche Bewusstseinsstufen auf den Menschen beschränkt sind. Zum anderen ist bisher nicht eindeutig geklärt und es gibt unterschiedliche, z. T. umstrittene Theorien dazu (Lenharo, 2024), welche neurobiologische Basis (z. B. in Form neurologischer Schaltkreise) Bewusstsein hat, sowie ob oder wie Bewusstsein neurobiologisch tatsächlich gemessen bzw. vorhergesagt werden kann. Die meisten derzeitigen Methoden zur Bewertung von Bewusstsein oder auch Schmerzwahrnehmung können nicht auf Organoide angewandt werden, da das Verständnis dieser Fähigkeiten weitgehend von der Beobachtung des Verhaltens von Tieren abhängt (NAS, 2021, S. 35 ff.). Was jedoch – insbesondere aus Studien an Menschen, die Verletzungen in verschiedenen Gehirnregionen erlitten haben – klar scheint, ist, dass die oft spezifisch dem Menschen zugeschriebenen Bewusstseinsstufen von sehr komplex

Ethische und moralische Fragen

Hirnorganoide in vitro – Entwicklung von Bewusstsein?

¹ Darüber hinaus werden ethische Fragen diskutiert, die die angemessene Zustimmung von Spender:innen (wie Patient:innen) von Stammzellen (v. a. iPS-Zellen) für die Erzeugung von Hirnorganoiden und deren Verwendung betreffen (z. B. NAS, 2021, S. 47 ff.). Da sich diese Fragen ganz ähnlich auch für andere Forschungsbereiche stellen und diskutiert werden, wird auf sie hier und im Folgenden nicht näher eingegangen.

organisierten Gehirnbereichen (wie dem präfrontalen Cortex²) sowie mehreren Gehirnregionen und Verbindungen zwischen ihnen abhängen (Edlow et al., 2021; NAS, 2021, S. 39). Angesichts der derzeitigen Eigenschaften und Limitationen von Hirnorganoiden (s. oben) erscheint es sehr unwahrscheinlich, dass diese in naher Zukunft ein solches Maß an Komplexität erreichen könnten.

Im Zusammenhang mit Transplantationen menschlicher Hirnorganoide in das Gehirn von Versuchstieren gibt es zum einen ethische Bedenken bezüglich des Tierwohls. Zum anderen wird befürchtet, Eigenschaften wie insbesondere die subjektive Erfahrung von Schmerz bzw. Leid und das Bewusstsein eines Versuchstiers könnten in einer Weise verändert werden, die es menschenähnlicher machen könnten (Kataoka et al., 2025). Diese Möglichkeit wird besonders für mögliche Transplantationsexperimente in nichtmenschliche Primaten diskutiert. Neben grundsätzlichen Bedenken, dass hierdurch die Natur der Tiere verletzt würde, dürften ihnen mit der Entwicklung „menschlicherer“ Fähigkeiten oder Eigenschaften ein höherer moralischer Status bzw. Schutzpflichten zugeschrieben werden müssen (z. B. Leopoldina, 2022, S. 39; NAS, 2021, S. 60 f.). Allerdings scheinen, wie oben dargelegt, höher entwickelte kognitive Funktionen von der Komplexität und funktionellen Architektur des Gehirns abhängig zu sein. Diese beruhen jedoch nicht nur auf dem Erbgut der eingebrachten menschlichen Zellen und dadurch möglicher Entwicklungsprozesse. Sondern sie benötigen in großem Maße auch zeitlich und räumlich passende zelluläre und molekulare Signale umgebender Zellen bzw. Gewebestrukturen, welche die Zelldifferenzierung und Gehirnentwicklung steuern (Kelley & Paşa, 2022). Deshalb gehen Expert:innen unterschiedlicher Disziplinen davon aus, dass die Transplantation heutiger oder in absehbarer Zukunft herstellbarer Hirnorganoide in das Gehirn von Empfängertieren keine solchen relevanten Veränderungen bewirken können (ISSCR, 2021; Leopoldina, 2022; NAS, 2021). Unsicherer ist die Einschätzung für Transplantationen von Stammzellen bzw. davon abgeleiteter Hirnorganoide in vorgeburtliche Stadien im Uterus. Hier könnte eine auch funktional stärkere Integration menschlicher Zellen in das Tiergehirn erfolgen (ISSCR, 2021; Leopoldina, 2022, S. 33 f.).

Obwohl nicht strikt mit der Transplantation von Hirnorganoiden vergleichbar, könnten besonders weitgehende Entwicklungs- und Integrationsprozesse durch das Einbringen menschlicher Stammzellen in frühe embryonale Stadien ermöglicht werden – vor allem dann, wenn Embryonen nichthumaner Primaten verwendet würden. Dieses Gebiet der Forschung wird aufgrund der ähnlichen Zielsetzung teilweise zusammen mit der Hirnorganoidforschung behandelt (NAS, 2021).

Basierend auf den oben dargelegten bioethischen Aspekten werden insbesondere zwei Fragenkomplexe zu möglichen rechtlichen und regulatorischen Implikationen diskutiert. Nämlich erstens, ob oder inwieweit moralische Schutzpflichten oder gar Rechte als natürliche oder juristische Personen für Hirnorganoide gelten sollten, falls diese Formen von Bewusstsein oder Schmerzwahrnehmung entwickeln würden. Und zweitens, wie der Schutz des Tierwohls in Zusammen-

Transplantation von Hirnorganoiden – Tiere mit menschlichen Eigenschaften?

Mögliche rechtliche und regulatorische Fragen

² Teil der Großhirnrinde, der sich an der Stirnseite des Gehirns befindet. Diese Struktur ist quasi primatenspezifisch und beim Menschen am größten ausgebildet.

hang mit der Transplantation solcher Organoide gewährleistet wird bzw. werden kann (Kataoka et al., 2025). Derzeit scheinen in keinem Land gesetzliche Regelungen speziell zur Forschung bzw. der Nutzung von Hirnorganoiden zu existieren. Es gibt jedoch Leitlinien der Internationalen Gesellschaft für Stammzellforschung (ISSCR, 2021). Darin werden für die Kultivierung neuraler Organoide *in vitro* keine spezifischen Aufsichtsprozesse als gerechtfertigt angesehen, da es derzeit „keine biologischen Hinweise auf die Möglichkeit bedenklicher Eigenschaften [...] wie beispielsweise Bewusstsein oder Schmerzwahrnehmung“ bei solchen Organoiden gibt. Für die Übertragung humaner Stammzellen oder davon abgeleiteter neuraler Strukturen in das Gehirn von Tieren nach der Geburt wird eine (in den meisten Ländern existierende) institutionelle Begutachtung durch Gremien, die jedoch Expertise „im Bereich Stammzell- oder Entwicklungsbiologie“ haben sollten, als notwendig erachtet. Für Transplantationen in nichtmenschliche Föten im Uterus wird dagegen ein (nicht näher ausführter) „spezifischer wissenschaftlicher und ethischer Aufsichtsprozess“ empfohlen, der in Übereinstimmung mit den lokalen Gesetzen und Richtlinien stattfinden muss. Bei Experimenten mit nichthumanen Primaten sollen „große und kleine Affenarten [...] z. B. Schimpansen, Gorillas, Orang-Utans, Gibbons [...] ausgeschlossen werden“ (ISSCR, 2021). In Österreich sind Versuche an solchen Affen durch das Tierversuchsgesetz verboten und andere nichthumane Primaten (z. B. Makaken) dürfen nur unter besonders restriktiven Voraussetzungen zu bestimmten Versuchszwecken herangezogen werden.

RELEVANZ DES THEMAS FÜR DAS PARLAMENT UND FÜR ÖSTERREICH

In Österreich wird weltweit anerkannte Forschung zu Hirnorganoiden am Institut für molekulare Biotechnologie (IMBA) der ÖAW durchgeführt³ und erste österreichische Start-up-Unternehmen nutzen die Technologie zur Entwicklung von Medikamenten.⁴ Solche Organoide dürften wohl auf längere Zeit nicht den Grad an struktureller und funktioneller Komplexität erreichen können, welcher zu den diskutierten ethischen Problemen führen könnte. Entsprechend ergibt sich, zumindest auf absehbare Zeit, kein regulatorischer Handlungsbedarf. Mögliche Entwicklungen zu höherer Komplexität der Organoide müssen jedoch beobachtet werden (Jackson, 2025). Dies gilt in ähnlicher Weise für die potenziellen Entwicklungen, die in Zusammenhang mit Transplantationen von Hirnorganoiden in das Gehirn von Versuchstieren (nach der Geburt) diskutiert werden. In Bezug auf mögliche Transplantationen in Tierembryonen bzw. -föten im Uterus, insbesondere von nichthumanen Primaten, scheint es jedoch ratsam zu prüfen, ob Vorschriften dazu im Allgemeinen und zur nötigen Expertise interdisziplinärer Ethikkommissionen im Besonderen ausreichend sind.

³ Dazu gehören Pionierarbeiten (Lancaster et al., 2013) sowie aktuelle Forschung (siehe oeaw.ac.at/imba/research/juergen-knoblich/publications).

⁴ Z. B. aheadbio.com; norganoid.com.

VORSCHLAG WEITERES VORGEHEN

Die Prüfung von Vorschriften sowie ggf. eines gesetzgeberischen Handlungsbedarfs bzgl. Transplantationen von Hirnorganoiden in Tierembryonen oder -föten dürfte den Austausch zwischen Rechtsexpert:innen, Vertreter:innen unterschiedlicher wissenschaftlicher Disziplinen (einschließlich der Stammzellforschung, der vergleichenden Neurobiologie und Gehirnforschung) sowie dem Parlament erfordern. Darüber hinaus könnte überlegt werden, einen ähnlichen Prozess für das Einbringen von menschlichen Stammzellen oder neuronalen Zellen in frühe embryonale Stadien von Tieren aufzusetzen oder in die entsprechenden Aktivitäten zur Transplantation von Hirnorganoiden mit einzubeziehen.

ZITIERTE LITERATUR

Birtele, M., et al. (2024). Modelling human brain development and disease with organoids. *Nat Rev Mol Cell Biol*, 12 Dec 2024.
doi.org/10.1038/s41580-024-00804-1.

Edlow, B. L., et al. (2021). Recovery from disorders of consciousness: Mechanisms, prognosis and emerging therapies. *Nature Reviews Neurology*, 17(3), 135–156. doi.org/10.1038/s41582-020-00428-x.

ISSCR (2021). ISSCR Guidelines für Stammzellforschung und klinische Translation. Version 1.1, Mai 2021; deutsche Übersetzung, Januar 2022.
static1.squarespace.com/static/611faaa8fee682525ee16489/t/62ed6a174729ce4782a9a4f0/1659726359925/isscr_germanguidelinesgerman_final.pdf.

Jackson, E. (2025). Future challenges for UK regulation of brain organoid re-search, *Medical Law Review* 33(1), doi.org/10.1093/medlaw/fwae047.

Kataoka M., et al. (2025). Beyond consciousness: Ethical, legal, and social issues in human brain organoid research and application. *Eur J Cell Biol*, 104(1), 151470. doi.org/10.1016/j.ejcb.2024.151470.

Kelley, K. W., & Pașca, S. P. (2022). Human brain organogenesis: Toward a cellular understanding of development and disease. *Cell*, 185(1), 42–61.
doi.org/10.1016/j.cell.2021.10.003.

Lancaster, M. A., et al. (2013). Cerebral organoids model human brain development and microcephaly. *Nature*, 501(7467), 373–379.
doi.org/10.1038/nature12517.

Lenharo, M. (2024). The consciousness wars: can scientists ever agree on how the mind works? *Nature*, 625(7995), 438–440.
doi.org/10.1038/d41586-024-00107-7.

Leopoldina (2022). Hirnorganoide: Modellsysteme des menschlichen Gehirns: Stellungnahme. Stellungnahme, Oktober. levana.leopoldina.org/receive/leopoldina_mods_00514; doi.org/10.26164/leopoldina_03_00514.

NAS (2021). *The emerging field of human neural organoids, transplants, and chimeras: Science, ethics, and governance*. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Washington, DC: The National Academies Press. doi.org/10.17226/26078.

Revah, O., et al. (2022). Maturation and circuit integration of transplanted human cortical organoids. *Nature*, 610(7931), 319–326. doi.org/10.1038/s41586-022-05277-w.

BATTERIESYSTEME DER ZUKUNFT (AKTUALISIERT)



© CC0 (Getty Images/unsplash)

ZUSAMMENFASSUNG

Die weltweite Batterienachfrage wird bis 2030 deutlich ansteigen. Dies ist hauptsächlich auf den Ausbau erneuerbarer Energien und die Elektromobilität zurückzuführen. Dieser Markt wird zu einem strategischen Bereich für neue Geschäftsmodelle, Technologien und Rohstoffe auf globaler Ebene. Derzeit wird dieser Markt von Lithium-Ionen-Batterien dominiert. Mit dem verstärkten Einsatz von Batterien ergeben sich Herausforderungen in Bezug auf Umweltauswirkungen, Lieferketten und die Verwendung kritischer Ressourcen wie Kobalt, Lithium, Nickel und Naturgraphit. Post-Lithium-Technologien wie Natrium-Ionen-Batterien (SIB) werden erforscht, um den Einsatz seltener und teurer Materialien zu reduzieren. Um die Entwicklung neuer Technologien und den Aufbau einer nachhaltigen, zirkulären Batterieindustrie zu fördern, sind gemeinsame Standards und transparente Lieferketten erforderlich. Eine umfassende TA-Studie wird vorgeschlagen, um Potenziale und Strategien für Forschung, Produktion und Recycling von Batterien zu ermitteln.

*Verstärkter Einsatz von Batterien bringt Herausforderungen mit sich
(Umwelt, Lieferketten, kritische Ressourcen)*

ÜBERBLICK ZUM THEMA

Die weltweite Nachfrage nach Batterien wird bis 2030 potentiell um das 14-fache steigen, 17 % dieser Nachfrage könnten auf die EU entfallen (Choix & Uhlig, 2021). Dies ist auf den Ausbau erneuerbarer Energien und insbesondere der Elektromobilität zurückzuführen. In verschiedenen Studien wird von einem Energiespeicherbedarf von über 2.100 GWh (bis zu 4.600 GWh) bis 2030 ausgegangen. Daraus entfallen über 90 % allein auf den Mobilitätssektor, ca. 6 % auf stationäre Energiespeichersysteme und ca. 3 % auf elektronische Geräte.¹ Die wachsende Bedeutung von Batterien in unterschiedlichen Anwendungsbereichen wird diesen Markt strategisch wichtig für neue Geschäftsmodelle, Technologien, Rohmaterialien und Recycling auf globaler Ebene machen. Derzeit haben chinesische (CATL 37,9 %, BYD 17,2 %), japanische (Panasonic 3,9 %) und südkoreanische (LG 10,8 %, Samsung 3,3 %) Unternehmen die größten Anteile in der Batterieherstellung (2022 mit 82 %), wobei in China knapp 75 % der globalen Produktion verortet sind.² In Europa gibt es eine Vielzahl an Initiativen für den Aufbau von Lithium-Ionen-Produktionskapazitäten im Umfang von insgesamt 1939 GWh³ (2023), welche mit Stand 2024 etwas rückläufig sind (1424 GWh). Diese Kapazitäten teilen sich größtenteils auf Deutschland, Schweden, Norwegen, Ungarn und Polen auf.⁴

Mit dem verstärkten *Einsatz von Batterien* ergeben sich Herausforderungen hinsichtlich Umweltauswirkungen, Wertschöpfungsketten und – je nach eingesetztem Elektrodenmaterial – der Verfügbarkeit kritischer und knapper Ressourcen. Der steigende weltweite Bedarf an Batterien im Mobilitäts- und Energiesektor kann je nach Szenario die derzeit bekannten Reserven für viele Metalle wie Kobalt, Lithium, aber auch Nickel, Kupfer übersteigen (Calderon et al. 2024). Verfügbarkeit und Versorgung mit Rohstoffen, aber auch deren Veredelung (Herstellung von Rohstoffen für die Industrieanwendung) werden dadurch zunehmend unsicher, Rohstoffpreise geraten unter Druck. Mehr als 80 % der in der EU für Industrie und Wirtschaft benötigten Rohstoffe werden importiert, von denen viele als kritische Rohstoffe gelten (European Commission, 2023). Erforderlich ist die Schaffung gemeinsamer Standards und transparenter Lieferketten, um eine nachhaltige, resiliente und möglichst kreislaufbasierte Batterieindustrie aufzubauen. Parallel dazu wird zur Reduktion der Importabhängigkeit versucht, neue Abbaugebiete in Europa zu erschließen bzw. alte Minen zu reaktivieren (im Fall von Lithium z. B. in Österreich, Deutschland, Serbien Tschechien oder Portugal), oder auch die Rohstoffe mittels alternativer Verfahren zu gewinnen (z. B. Lithium durch Geothermieranlagen⁵). Die Rohstoffgewinnung im relativ dicht besiedelten Europa, insbesondere der herkömmliche Abbau in Minen, ist aber mit großen Umwelt- und sozialen Auswirkungen verbunden (Mononen et al., 2022). Ein anderer Weg, die Abhängigkeit von kritischen Rohstoffen zu reduzieren, ist des-

*Batteriespeicher
als Kernelement
für die Energie- und
Verkehrswende*

¹ pem.rwth-aachen.de/cms/pem/der-lehrstuhl/presse-medien/aktuelle-meldungen/~blicefl-battery-monitor-2025-europaeische-hers/.

² de.statista.com/statistik/daten/studie/490589/umfrage/ranking-zu-den-groessten-herstellern-von-lithium-ionen-akkus-weltweit/.

³ battery-news.de/2023/02/03/16260/.

⁴ cicenergigune.com/en/blog/gigafactories-europe-commitment-economic-recovery-battery-factories.

⁵ kit.edu/kit/pi_2023_028_energiespeichermaterialien-aus-heissem-tiefenwasser-lasst-sich-lithium-gewinnen.php.

halb die Entwicklung neuer Batteriesysteme, die auf gut verfügbaren Rohstoffen wie Natrium, Magnesium, Calcium, Zink, Kalium, synthetischem Graphit oder Hartkohlenstoff basieren (Liu et al. 2024).

Lithium-Ionen-Batterien (LIB) nehmen aktuell einen signifikanten Marktanteil ein und haben sich als vielversprechendste Batterietechnologie für die Speicherung erneuerbarer Energien und die Umsetzung der Elektromobilität etabliert. Die Entwicklung von LIB hat in den letzten Jahren große Sprünge sowohl bei der Energiedichte als auch bei der Lebensdauer bei einer gleichzeitigen starken Reduktion der Speicherkosten gemacht (Ziegler & Trancik, 2021). Eine vielversprechende Entwicklung im LIB-Bereich sind sog. Feststoffbatterien. Bei diesen wird das aktuelle Flüssigelektrolyt durch eine Feststoffalternative (Polymere, Keramiken oder hybrid) ersetzt (Thomas et al. 2024). Damit einhergehend werden potenzielle Sprünge im Bereich der Energiedichte als auch der Sicherheit entsprechender Batteriezellen erwartet. Ein wichtiges Ziel der Erforschung neuer Batteriesysteme, sogenannter Post-Lithiumsysteme, besteht darin, potenzielle Nachhaltigkeitskonflikte im Zusammenhang mit der steigenden Nachfrage zu minimieren und den Einsatz kritischer und teurer Materialien mit hohen Umweltauswirkungen zu reduzieren. Post-Lithiumsysteme umfassen eine breite Palette von Zellchemien basierend auf Mg, Ca, Al, Na, K oder Zn, wobei der Name je nach Ionentausch innerhalb der Batterie vergeben wird. Unter den derzeitigen Entwicklungen gelten Natrium-Ionen-Batterien (NIB) als die am weitesten fortgeschrittenen Technologie – eine Vielzahl an Start-ups und größeren Batterieherstellern streben eine zeitnahe Markteinführung von NIB für stationäre und Mobilitätsanwendungen an. Diese basieren im Wesentlichen auf demselben Funktionsprinzip als auch denselben Herstellungsprozessen wie LIB und werden deshalb als Drop-In-Technologie bezeichnet (Technologien oder Systeme, die ohne großen Aufwand in bestehende Strukturen integriert werden können) (Yokoi et al. 2024). Ihre Vorteile sind die Verwendung günstigerer und häufiger vorkommender Materialien (Aluminium anstelle von Kupfer als Stromkollektor, Natrium anstelle von Lithium im aktiven Kathodenmaterial und im Elektrolytsalz) (Baumann et al., 2022). Aktuell besitzen NIB gegenüber LIB den Nachteil einer geringeren Energiedichte, was insgesamt das ökologische und ökonomische Profil beeinflusst. Die Verwendung von unkritischen Materialien führt somit nicht automatisch zu einer nachhaltigeren Technologie, weshalb eine gründliche Bewertung der potenziellen Umweltauswirkungen, Ressourcenfragen und Wirtschaftlichkeit notwendig ist (Yokoi et al. 2024). Eine der größten Herausforderungen für die Markteinführung neuer Technologien ist die Notwendigkeit, den Markt für Komponenten zu entwickeln (Elektrolyte, Kathodenmaterialien). Generell liegt bei neuen Batteriesystemen wie NIB das Problem in der Kommerzialisierung im großen Maßstab. Die Forschung zu Batterien (1. und 2. Generation) ist zwar in der EU (Deutschland, Österreich mit Varta Forschungshub) stark. Allerdings bleibt es aktuell bei kleinskaligen Pilot- oder Kommerzialisierungsprojekten, die gegenüber den kommerziellen Lösungen aus China, wo NIB schon im automobilen und stationären Sektor verfügbar sind, nur bedingt mithalten können.

Das Recycling spielt für die Verfügbarkeit relevanter Materialien eine wichtige Rolle und wird bei Auftreten größerer Altbatteriekapazitäten ab 2030 stärker wachsen.⁶ Hierbei spielen Skalierung und Automatisierung eine wichtige Rolle

Post-Lithium-Batterien als Game-Changer?

Löst Recycling alle Probleme?

⁶ mckinsey.com/de/news/presse/2023-01-16-batterien.

für die ökologische und ökonomische Tragfähigkeit des Recyclings. Gemäß der seit 2023 gültigen EU-Batterierichtlinie müssen für LIB Mindestmengen aus Herstellungs- und Verbraucherabfällen in neuen Batterien wiederverwendet werden. So müssen ab dem 1. Januar 2030 Batterien einen Mindestanteil an *recyceltem Material* enthalten (12 % Kobalt, 85 % Blei, 4 % Lithium und 4 % Nickel). Diese Werte sollen ab 2035 weiter erhöht werden (20 % Kobalt, 10 % Lithium und 12 % Nickel) (European Union, 2023). Beim mechanischen Recycling werden die Batterien hierfür zunächst demontiert, dann geschreddert und werthaltige Stoffe mittel Klassierprozessen aussortiert (Elektrolytreste werde durch Pyrolyse entfernt). Abschließend erfolgt eine Trennung der Schwarzmasse (bestehend aus Co, Ni, Mn), wodurch rund 30 % der Materialien wiedergewonnen werden können. Eine weitere Reyclingform ist das pyrometallurgische Recycling. Bei diesem Hochtemperaturprozess (bis zu 1.500 C) ist das Endprodukt eine Metalllegierung (Li, Co, Ni, Cu, Fe). Hierdurch lassen sich derzeit 40-50 % der Materialien wiedergewinnen, wobei durch weitere Maßnahmen eine Steigerung auf rund 80 % möglich erscheint, allerdings mit hohen Aufwendungen. Hydrometallurgie schließt an die mechanischen (oder ggf. an die oben genannte pyrometallurgischen) Routen an. Hierbei kann die Schwarzmasse durch Säureaufschluss und unterschiedliche Extraktionsverfahren weiterbearbeitet werden. Zurück bleiben Metallsalze hoher Reinheit, die weiter getrennt werden können. Durch die Kombination genannter Recyclingprozesse ist es theoretisch möglich, über 90 % der Materialien wieder zu gewinnen, was aber mit höheren Kosten und Energieaufwendungen verbunden ist (Neef et al., 2021). Eine Übersicht über die verschiedenen Recyclingtechnologien ist in Mohr et al. (2020) zu finden. Für Post-Lithium-Technologien ergeben sich veränderte Anforderungen an das Recycling, was zu einer Anpassung verfügbarer Prozesse führen kann bzw. muss, da der Wertstoffgehalt in Post-Lithium-Systemen deutlich geringer ist (Weil, Baumann, et al., 2020). Des Weiteren muss geprüft werden, ob es für diese Recyclingprozesse auch einen entsprechenden Business Case gibt (Wert der recycelten Materialien). Dies stellt insbesondere neue Batteriesysteme wie NIB vor große Herausforderungen, da hier der Wertstoffgehalt besonders niedrig ist. Batterien sollten deshalb idealerweise schon beim Design auf Recyclingfähigkeit optimiert werden („Design for Recycling“). Parallel dazu kann eine Second-Life-Nutzung, z. B. in stationären Speichern, die Batterienutzungsdauer erhöhen und so die Notwendigkeit sofortigen Recyclings hinauszögern.⁷

RELEVANZ DES THEMAS FÜR DAS PARLAMENT UND FÜR ÖSTERREICH

Österreich hat das Ziel, den Anteil von Elektrofahrzeugen von derzeit 21 % bis 2030 auf 100 % zu erhöhen.⁸ Hinzu kommt ein verstärkter Ausbau von Photovoltaik-Speichersystemen bis 2040. *Großtechnische Batteriespeicher* werden primär von Forschungs- und Demonstrationsprojekten getragen. Es gibt jedoch zunehmend kommerzielle Batteriespeicherprojekte.⁹ Hinzu kommen gemäß der EU-

*Wirtschaftliche
Potenziale für
Österreich*

⁷ epub.oeaw.ac.at/ita/ita-dossiers/ita-dossier079.pdf.

⁸ austriatech.at/de/zahlen-daten-fakten-archiv/.

⁹ ess-news.com/2025/02/10/austria-commissions-its-largest-battery-storage-facility/.

Batterieverordnung erhöhte Anforderungen zur Verbesserung der Umweltverträglichkeit von Batterien während ihres gesamten Lebenszyklus. Dabei rückt auch das Thema Recycling stärker in den Fokus. Derzeit bestehen vor allem Knappheiten bei den für den Aufbau einer Batterieproduktion benötigten Maschinen, bei Baumaterialien und Arbeitskräften. Generell stellt das Hochskalieren der Produktion eine große Herausforderung für die gesamte Batterieindustrie dar. Österreich hat hier hohe Kompetenz im Bereich der Wissenschaft (z. B. AIT, TU Graz). Insgesamt hat das Klimaschutzministerium im Rahmen von IPCEI (Important Project of Common European Interest) als Großprojekt zur Förderung der Batterieindustrie zunächst sechs technologisch führende Industriebetriebe ausgewählt (z. B. VARTA Forschungshub in Graz) und 2024 um fünf weitere erweitert.¹⁰ Hinzu kommen gut ausgebildete Fachkräfte entlang der gesamten Wertschöpfungskette.¹¹ Durch das erhöhte globale Momentum im Batteriemarkt ergeben sich hier im europäischen Kontext wirtschaftliche Potenziale für Österreich, welche durch ein adäquates Managen der Wertschöpfungskette unterstützt und nutzbar gemacht werden können. Der Aufbau einer zirkulären Batterie-Wertschöpfungskette stellt nicht nur eine ökologische Notwendigkeit, sondern auch eine industriepolitische Chance für den Standort Österreich dar. Des Weiteren ist die Abstimmung auf europäischer Ebene wichtig, um wettbewerbsfähig gegenüber den Aktivitäten in Asien und Nordamerika zu sein. Im Rahmen dessen müssen sowohl geopolitische Risiken als auch Handelsrestriktionen und deren Auswirkungen für die Erreichung der Verkehrs- oder Mobilitätswende berücksichtigt werden, insbesondere mit Blick auf die Rohstoffverfügbarkeit.

VORSCHLAG WEITERES VORGEHEN

Eine TA-Studie müsste erheben, welche Potenziale es für den Aufbau relevanter Maßnahmen für Forschung (z. B. auch hinsichtlich alternativer Technologien), Produktion und Recycling von Batterien gibt. Wesentlich ist hierbei zu verstehen, welche Batteriekreislaufstrategien für unterschiedliche Batteriesysteme in der nahen und fernen Zukunft sich für Österreich eignen. Im Rahmen dieser Analyse ist die gesamte Wertschöpfungskette zu berücksichtigen. Ein Mapping potenzieller Risiken für die Versorgung Österreichs mit notwendigen Energiespeichertechnologien für stationäre und mobile Anwendungen erscheint notwendig. Dies müsste auch potenzielle Umweltauswirkungen, soziale Aspekte und Ressourcenfragen von Energiespeichern umfassen.

Was ist für eine nachhaltige Batterie-Wertschöpfungskette notwendig?

¹⁰ bmimi.gv.at/themen/innovation/internationales/ipcei/aktive_teilnahmen/EuBatIn.html.

¹¹ infothek.bmk.gv.at/klimatechnologien-europaeische-batterie-initiative-mit-entscheidender-oesterreichischer-beteiligung/.

ZITIERTE LITERATUR

Baumann, M., et al. (2022). Prospective Sustainability Screening of Sodium-Ion Battery Cathode Materials. *Advanced Energy Materials*, 2202636. doi.org/10.1002/aenm.202202636.

Calderon, J.L.; Smith, N.M.; Bazilian, M.D.; Holley, E. (2024). Critical mineral demand estimates for low-carbon technologies: What do they tell us and how can they evolve? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 189A(113938) <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113938>.

Choix, B., & Uhlig, F. (2021). Stellungnahme des Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschusses zu „Nachhaltigkeitsanforderungen für Batterien in der EU“. (COM(2020) 798 final – 2020/353 (COD)). eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021AE0122&from=EN.

European Commission, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, Grohol, M., Veeh, C., *Study on the critical raw materials for the EU 2023 – Final report*, Publications Office of the European Union, 2023, data.europa.eu/doi/10.2873/725585.

European Union. (2023). Regulation (EU) 2023/1542 of the European Parliament and of the Council of 12 July 2023 concerning batteries and waste batteries, amending Directive 2008/98/EC and Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Directive 2006/66/EC (EU). eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R1542.

Liu, H.; Baumann, M.; Moon, H.; Zhang, X.; Dou, X.; Zarrabeitia, M.; Crenna, E.; Hischier, R.; Passerini, S.; Assen, N. von der; Weil, M. (2024). Life cycle assessment of bio-based hard carbon for sodium-ion batteries across different production scales. *Chemical Engineering Journal*, 495(153410). [doi:10.1016/j.cej.2024.153410](https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.153410).

Mohr, M., Peters, J. F., Baumann, M., & Weil, M. (2020). Toward a cell-chemistry specific life cycle assessment of lithium-ion battery recycling processes. *Journal of Industrial Ecology*. doi.org/10.1111/jiec.13021.

Mononen, T., Kivinen, S., Kotilainen, M., Leino, J. (2022). Social and environmental impacts of mining activities in the EU, Policy. Directorate-General for Internal Policies. doi.org/10.2861/804163.

Neef, C., Schmaltz, T., & Thielmann, A. (2021). Recycling von Lithium-Ionen-Batterien: Chancen und Herausforderungen für den Maschinen- und Anlagenbau. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.

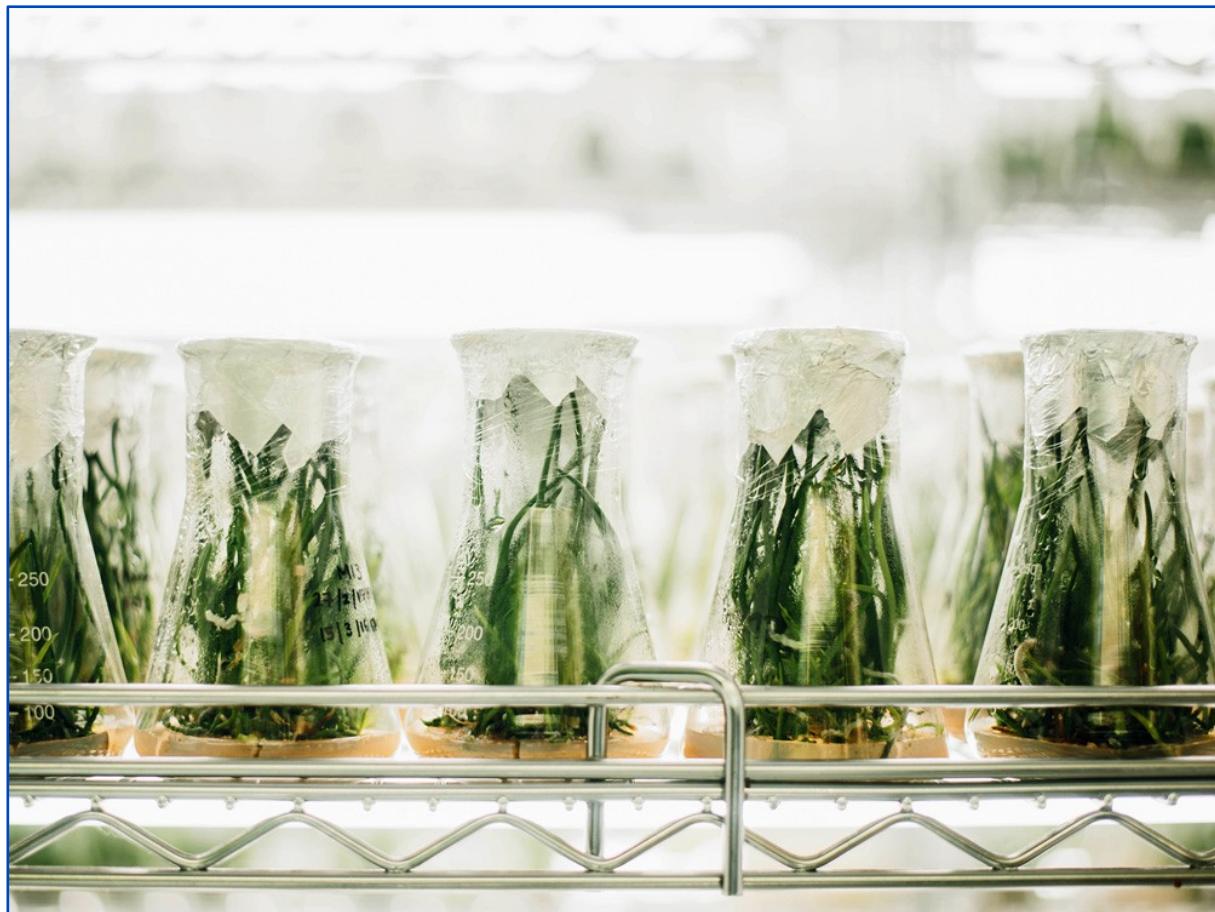
Thomas F, Mahdi L, Lemaire J, Santos DMF. Technological Advances and Market Developments of Solid-State Batteries: A Review. *Materials*. 2024; 17(1):239. <https://doi.org/10.3390/ma17010239>.

Weil, M., Peters, J., & Baumann, M. (2020). Stationary battery systems: Future challenges regarding resources, recycling, and sustainability. In *The Material Basis of Energy Transitions* (pp. 71–89). Elsevier. doi.org/10.1016/B978-0-12-819534-5.00005-2.

Yokoi, R.; Kataoka, R.; Masese, T.; Bach, V.; Finkbeiner, M.; Weil, M.; Baumann, M.; Motoshita, M. (2024). Potentials and hotspots of post-lithium-ion batteries: Environmental impacts and supply risks for sodium- and potassium-ion batteries. *Resources, Conservation and Recycling*, 204(107526). [doi:10.1016/j.resconrec.2024.107526](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107526).

Ziegler, M. S., & Trancik, J. E. (2021). Re-examining rates of lithium-ion battery technology improvement and cost decline. *Energy & Environmental Science*, 14(4), 1635–1651. doi.org/10.1039/D0EE02681F.

PROTEINWENDE – ALTERNATIVE EIWEßQUELLEN BREITENWIRKSAM NUTZEN (AKTUALISIERT)



© CC0 (Chuttersnap/Unsplash)

ZUSAMMENFASSUNG

Einige europäische Staaten haben bereits Strategien zur Umsetzung der Proteinwende entwickelt, die auf eine schrittweise Verringerung des Verzehrs von tierischem Eiweiß und eine Steigerung des Verzehrs alternativer, hauptsächlich pflanzlicher Eiweiße abzielt. Solche Maßnahmen sind auch für Österreich von hoher Relevanz. Die Landwirtschaft trägt in Österreich etwa zehn Prozent der Treibhausgasemissionen bei und ist von den Auswirkungen des Klimawandels stark betroffen. In Europa gehen rund 70 Prozent der landwirtschaftlichen Emissionen auf Tierhaltung zurück. Mit der Proteinwende könnten wichtige Schritte zur Emissionsreduktion gesetzt werden, außerdem hätte eine Reduktion des in Österreich sehr hohen Fleisch- und Milchkonsums positive gesundheitliche Effekte.

*Proteinwende:
Reduktion tierischer
Produkte*

ÜBERBLICK ZUM THEMA

Die Bevölkerung Europas ist sehr gut mit Proteinen versorgt, es wird teilweise pro Kopf mehr Protein bereitgestellt und konsumiert als physiologisch notwendig oder medizinisch ratsam. Erwachsene sollten 0,8 g Protein pro Kilo Körpergewicht und Tag zu sich nehmen, Ältere ab Mitte 60 etwas mehr, so die Referenzwerte der Österreichischen Gesellschaft für Ernährung.¹ In Österreich liegt der Protein-Durchschnittskonsum bei ca. 15 % an der Gesamternährung, was im Bereich der Ernährungsempfehlungen liegt.² Allerdings nimmt die Bevölkerung, ähnlich wie in vielen Industrieländern, zu viel Fleisch und andere tierische Produkte zu sich, zu viel aus gesundheitssphysiologischer Sicht laut österreichischem Ernährungsbericht (2017), und zu viel für eine klimagerechte Nahrungsmittelversorgung.

Ohne Veränderungen im Ernährungssystem kann die prognostizierte weltweite Nachfrage nach tierischem Eiweiß nicht nachhaltig gedeckt werden (Henchion et al., 2021). Die Landwirtschaft trägt in Österreich etwa zehn Prozent der Treibhausgasemissionen bei, und ist von den Auswirkungen des Klimawandels stark betroffen. In Europa gehen rund 70 Prozent der landwirtschaftlichen Emissionen auf Tierhaltung zurück.³ Die Reduktion von Treibhausgasemissionen in der Agrar-Ernährungswirtschaft findet bisher wenig Resonanz in klimapolitischen Strategien, wobei in der Produktion, Verteilung und Konsum von tierischen Produkten das größte Potenzial zur Reduktion der Emission von Treibhausgasen in diesem Sektor liegt (Penker et al., 2023).

Landwirtschaftliche Flächen sind begrenzt, deren Produkte aber an vielen Stellen gefragt. In bestimmten Fällen kann es zu Nutzungskonkurrenz zwischen dem Anbau von Lebensmitteln (Teller), Futtermitteln (Tröge) und Energie und Rohstoffen (Lagertanks) kommen (acatech, 2023). Gerade die Fleischproduktion ist sehr ressourcenintensiv, je nach Tierart werden zwischen vier und zehn Kilokalorien Futtermittel für eine Kalorie Fleisch investiert, dazu kommt hoher Wasser- und Energieverbrauch. Kühe können zwar beispielsweise für den Menschen nicht nutzbare Nahrung (Gras) verwerten, werden sie aber mit anderen Futtermitteln gefüttert (Soja etc.), oder werden Flächen für den Anbau dieser verwendet, entsteht Flächenkonkurrenz. Der EU-Viehzuchtsektor ist in hohem Maße von der Einfuhr pflanzlicher Proteine für Futtermittel, insbesondere Sojabohnen aus Argentinien, Brasilien und den USA abhängig. Die Zusammenhänge zwischen Eiweißeinfuhrn, der Entwaldung und den erheblichen Treibhausgasemissionen aus der Tierhaltung einerseits und der Verwendung pflanzlicher Proteine in der menschlichen Ernährung andererseits, gewinnen zunehmend an Bedeutung.⁴ Das Potenzial und die Notwendigkeit der Förderung des vermehrten heimischen Anbaus von Eiweißpflanzen wurde in der Österreichischen Eiweißstrategie festgehalten.⁵ Hier geht es aber vor allem um die bessere und damit unabhängiger Versorgung mit Futtermitteln, die insbesondere für die Fleisch- und Milchproduktion von Nöten sind.

*Weltweiter
Proteinhunger,
bei gleichzeitiger
Überversorgung
in Europa*

*Fleischkonsum:
bei Männern dreimal
mehr als empfohlen*

*70 Prozente der
landwirtschaftlichen
Emissionen aus
Tierhaltung*

*Begrenzte Flächen:
Teller-Tank-Tröge-
Konkurrenz*

¹ oege.at/d-a-ch-referenzwerte/dach-proteine/.

² broschuerenservice.sozialministerium.at/Home/Download?publicationId=528.

³ food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_de#Strategy.

⁴ [europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/751426/EPRI_BRI\(2023\)751426_EN.pdf](http://europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/751426/EPRI_BRI(2023)751426_EN.pdf).

⁵ info.bml.gv.at/dam/jcr:bac47722-eb19-4342-a308-c9cc9fecdc48/Abschlussbericht%20Eiwei%C3%9Fstrategie.pdf.

Eine ausgewogene, nachhaltige, gesunde Ernährung und die Reduzierung von Lebensmittelverlusten und -verschwendungen bieten wichtige Möglichkeiten zur Anpassung und Abschwächung des Klimawandels, und bieten gleichzeitig erhebliche Vorteile für die biologische Vielfalt und die menschliche Gesundheit (IPCC, 2023). Eine solche Ernährung definiert das IPCC als Ernährung mit pflanzlichen Lebensmitteln, z. B. auf der Grundlage von Getreide, Hülsenfrüchten, Obst und Gemüse, Nüssen und Samen, sowie tierischen Lebensmitteln, die in resilienteren, nachhaltigen und treibhausgasarmen Systemen erzeugt werden. Die wissenschaftliche EAT-Lancet-Kommission entwickelte hierzu die Planetary Health Diet, welche Ernährungsregeln für die globale Bevölkerung zusammenfasst, die die menschliche Gesundheit erheblich fördern und gleichzeitig das Einhalten der planetaren Grenzen während der Produktion ermöglichen soll. Das Ziel – ein nachhaltiges Ernährungssystem.⁶

Um tierische Erzeugnisse zu niedrigen Kosten anbieten zu können, haben die Viehzüchter an der Verbesserung der Produktivität gearbeitet (Verbesserung der Rassen, optimales Mischfutter usw.). Das Streben nach Produktivität hat jedoch dazu geführt, dass die Tiere auf kleinem Raum zu nicht artgerechten Bedingungen gehalten werden (Takefaji, 2021). Hier könnten eine vermehrte Produktion von pflanzlichen und alternativen Proteinen helfen, die vorherrschende Massentierhaltung zurückzudrängen, und langfristig sogar überflüssig zu machen.

Alternative Proteine können von Pflanzen oder Mikroorganismen (einzellige Bakterien, Algen, Pilze) produziert werden (siehe auch [Zellfabriken](#)). Tierfreies Milcheiweiß kann durch Fermentation mit Mikroorganismen hergestellt werden. Viele Unternehmen konzentrieren sich auf die Fermentierung von tierfreiem Fleisch, Eiern bzw. Milchprodukten (Takefaji, 2021). Bei pflanzlichen Eiweißprodukten wird das Eiweiß aus der Pflanze extrahiert und mit anderen pflanzlichen Zutaten kombiniert, die das Produkt so fleischähnlich wie möglich machen können. Mikrobielles Protein wird als Single Cell Protein (SCP) bezeichnet, was bedeutet, dass mikrobielle Zellen gezüchtet (Zellkulturen) und geerntet werden (Takefaji, 2021). Insgesamt ist die Entwicklung alternativer Produkte, die den ernährungsphysiologischen und sensorischen Eigenschaften herkömmlicher Produkte nahekommen, nach wie vor eine große Herausforderung. Darüber hinaus führen unzureichende Sicherheitsbewertungen und unklare rechtliche Standards zu Verwirrung in der Lebensmittelindustrie und behindern den Fortschritt (Malila et al., 2024). Zusätzlich werden hoch-verarbeitete Lebensmittel immer öfter mit Gesundheitsbeeinträchtigungen in Verbindung gebracht (Lane et al., 2024). Die Verwendung gentechnisch veränderter Bakterien und Pilze zur Herstellung mikrobieller Proteine hat im Zuge der Entwicklung neuer gentechnologischer Werkzeuge wie CRISPR schnelle Fortschritte gemacht. In der industriellen Biotechnologie spricht man hier auch von Präzisionsfermentation. Das Thema wird zwar nicht so kontrovers wie gentechnisch veränderten Nutzpflanzen diskutiert, da es sich weitestgehend um geschlossene Systeme handelt. Es erregt aber trotzdem gesellschaftliche Aufmerksamkeit, etwa wegen potentieller Gesundheitsrisiken. Es ist umstritten, ob solche Produkte unter die GVO-Verordnung fallen, da die Verbraucher:innen nicht den Organismus selbst essen, sondern beispielsweise das daraus gewonnenen Protein.

⁶ thelancet.com/commissions-do/eat.

*Notwendiger
Klimaschutz durch
ausgewogene
Ernährung*

*Missstände
bei Tierwohl*

*Mehr pflanzenbasierte
und alternative
Proteine: Bakterien,
Hefen, Pilze und Algen*

Fermentation

*Maßgeschneiderte
Mikroorganismen und
Enzyme produzieren
Protein*

Mikrobiell hergestellte Proteine werden durch Fermentationsprozesse aus Bakterien, Hefen, Algen und Pilzen gewonnen. Diese Art von Protein wird bereits in Viehfutter verwendet und es besteht ein wachsendes Interesse daran, es für den menschlichen Verzehr zu verwenden. Geringe Umweltbelastung, wie ein geringer Flächenbedarf und nur etwas 10 % des Wasserverbrauchs im Vergleich zum Sojaanbau, zeigen das Potenzial. Mikrobielle Proteinproduktion verbraucht jedoch erheblichen Mengen Energie und erfordert strenge toxikologische Tests, was einen breiten Einsatz derzeit limitiert. Eine erhöhte Energieeffizienz und bessere Produktionsverfahren könnten diese Einschränkungen in Zukunft beseitigen (EPRS, 2023). Vermehrte Nahrungsherstellung in Bioreaktoren könnte gemeinsam mit *vertikaler Landwirtschaft* helfen, große urbane Regionen zu einem größeren Teil selbst zu versorgen.

*Geringer Flächenbedarf
aber derzeit hoher
Energiebedarf*

Mehrzellige Pilze enthalten verschiedenen bioaktiven Moleküle, die in pflanzlichen und tierischen Lebensmitteln nicht, oder nur unzureichend vorhanden sind, und gelten als *funktionelle Lebensmittel* zur Vorbeugung verschiedener menschlicher Krankheiten (Bell et al., 2022). Sie sind bekannt für ihre hohe ernährungsphysiologische Bedeutung, z. B. ihren hohen Eiweiß-, niedrigen Fett- und geringen Energiegehalt. Und sie gelten als die am wenigsten genutzte und bekannte Ressource von nahrhaften Lebensmitteln (Kumar et al., 2021). Die Fruchtkörper von Pilzen sind seit je her fester Ernährungsbestandteil des Menschen, zusätzlich gewinnt in letzter Zeit das unterirdisch wachsende Pilzmyzel an Bedeutung bei der Herstellung neuer Lebensmittel. Durch Fermentation von Pilzmyzel gewonnene Lebensmittel sind eine hochwertige Alternative zu tierischen Proteinen, wodurch außerdem in einer Kreislaufwirtschaft das Upcycling von Lebensmittelabfällen gelingen kann (Molitorisová & Monaco, 2023). Jüngste Forschungen haben gezeigt, dass viele Speisepilzstämme in Flüssigkulturen kultiviert werden können, einen hohen Gehalt an Biomasse und eine Vielzahl bioaktiver Verbindungen wie Proteine, Enzyme, Lipide und Kohlenhydrate auf sichere Art und Weise für die Verwendung in der Lebensmittelindustrie produzieren können (Bakratsas et al., 2021).

*Pilzmyzel als
zukunftsweisende
Proteinquelle*

Insekten als Lebens- und Futtermittel haben in letzter Zeit als nachhaltige Strategie für die Eiweißproduktion in Kreislaufsystemen an Bedeutung gewonnen. So gelten beispielsweise Mehlwürmer als effiziente Biomassekonverter, um Protein aus minderwertigen Nebenprodukten, wie Weizenkleie oder Braurückständen, zu erzeugen (Derler et al., 2021). Ob in Zukunft Insekten eine wichtige Proteinquelle für Mensch und Nutztier werden, ist noch umstritten, denn die Nachhaltigkeit ihrer Züchtung hängt in hohem Maße von ihrer Fütterung ab (acatech, 2023). Einige Produktionsweisen von Fett und Protein aus Insekten verbrauchen aber signifikant weniger Fläche und Wasser und stoßen viel weniger Treibhausgase und Ammoniak aus. Insekten werden traditionell in Asien, Afrika, Süd- und Mittelamerika verzehrt, wo sie gezüchtet oder aus der freien Natur geerntet werden und Teil der traditionellen Ernährung sind. In Europa scheint die höchste Hürde bei der Umsetzung die Akzeptanz bei Konsument:innen zu sein, allerdings wird das Verhalten der europäischen Verbraucher:innen in Bezug auf essbare Insekten erst seit kurzer Zeit untersucht, und ist dementsprechend schwer einzuschätzen (Mancini et al., 2019).

*Insekten als effiziente
Umwandler von Rest-
und Abfallstoffen zu
hochwertigem Protein
und Fett*

RELEVANZ DES THEMAS FÜR DAS PARLAMENT UND FÜR ÖSTERREICH

Unter Expert:innen herrscht sehr hohe Einigkeit darüber, dass eine auf Klimaziele ausgerichtete integrative Ernährungspolitik zwar von vielen zivilgesellschaftlichen Akteur:innen und der Wissenschaft gefordert wird, diese aber im Konflikt mit Interessen, die den Status quo aufrechterhalten wollen, dem gegenwärtigen Handelssystem sowie der aktuellen Ausgestaltung der EU-Agrarpolitik steht (Penker et al., 2023). Stärker pflanzenbasierte Ernährungsweisen zu fördern, ist relativ neu in der Ernährungspolitik und deswegen wurden bisher wenig politischen Ziele und Zeithorizonte für deren Umsetzung formuliert. Ohne solche politischen Verpflichtungen ist aber eine geregelte Umsetzung schwer möglich (Quack et al., 2023). Insgesamt sind mikrobielle Proteine relativ gut in der EU-Gesetzgebung verankert und werden forschungspolitisch gefördert. Der Markt für mikrobielle Proteine kann sich aber ohne wirtschaftliche Maßnahmen zur Förderung einer nachhaltigen und gesunden Lebensmittelproduktion nicht entwickeln. Die EU hat eine Reihe von Maßnahmen ergriffen, um den Zugang zu Finanzmitteln und Märkten zu erleichtern und die Wettbewerbsfähigkeit und Innovation von kleinen und mittleren Unternehmen zu fördern.⁷ Dänemark⁸ und die Niederlande⁹ haben bereits Strategien zur Umsetzung der Proteinwende entwickelt, die auf eine schrittweise Verringerung des Verzehrs von tierischem Eiweiß und eine Steigerung des Verzehrs alternativer, hauptsächlich pflanzlicher Eiweiße abzielt. Solche Maßnahmen sind auch für Österreich von Relevanz.

*Österreichische
Strategie zur
Proteinwende*

VORSCHLAG WEITERES VORGEHEN

Die meisten alternativen Proteinpfade beinhalten bestimmte technologische Entscheidungen und damit verbundene Erwartungen und Versprechungen darüber, wie sie Nachhaltigkeit, Gesundheit und Tierwohl zugutekommen. Eine gesellschaftliche Umstellung auf alternative Proteine hätte möglicherweise tiefgreifende Auswirkungen auf die Landnutzung, die Umweltbelastung und den Lebensmittelkonsum. Langfristige strategische Entscheidungen brauchen als Grundlage einen stetig aktuellen, fundierten Überblick zu den Umweltbilanzen realer Produkte und Prozesse sowie eine Abschätzung zukünftig erwartbarer Innovationen. Dies könnte in einer umfassenden FTA-Studie mit Stakeholderbeteiligung erfolgen. Die Umstellung der Proteinproduktion und des Verbrauchs können nicht unabhängig voneinander umgesetzt werden und bedürfender übersektorale Zusammenarbeit innerhalb ganzer Lieferketten sowie der Abstimmung privater und politischer Entscheidungsträger:innen.

*FTA-Studie
als Überblick
zu Technologien,
Produkten und
Akteuren*

⁷ [europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2022/729539/EPRS_ATA\(2022\)729539_EN.pdf](http://europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2022/729539/EPRS_ATA(2022)729539_EN.pdf).

⁸ gfieurope.org/blog/denmark-publishes-worlds-first-national-action-plan-for-plant-based-foods/.

⁹ wur.nl/en/newsarticle/five-major-players-launch-masterplan-for-protein-transition-as-economic-engine-in-the-netherlands.htm.

ZITIERTE LITERATUR

acatech (2023). *Nachhaltige Landwirtschaft*. Retrieved from acatech.de/publikation/acatech-horizonte-nachhaltige-landwirtschaft/.

Bakratsas, G., et al. (2021). Recent trends in submerged cultivation of mushrooms and their application as a source of nutraceuticals and food additives. *Future Foods*, 4, 100086. doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100086.

Bell, V., et al. (2022). Mushrooms as future generation healthy foods. *Frontiers in Nutrition*, 9. doi:10.3389/fnut.2022.1050099.

Derler, H., et al. (2021). Use Them for What They Are Good at: Mealworms in Circular Food Systems. *Insects*, 12(1). doi:10.3390/insects12010040

EPKS. (2023). *EU protein strategy*. Retrieved from [europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/751426/EPKS_BRI\(2023\)751426_EN.pdf](https://europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/751426/EPKS_BRI(2023)751426_EN.pdf).

Henchion, M., et al. (2021). Review: Trends for meat, milk and egg consumption for the next decades and the role played by livestock systems in the global production of proteins. *Animal*, 15, 100287. doi.org/10.1016/j.animal.2021.100287.

IPCC. (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland.

Kumar, K., et al. (2021). Edible Mushrooms: A Comprehensive Review on Bioactive Compounds with Health Benefits and Processing Aspects. *Foods*, 10(12), 2996.

Lane, M. M., et al. (2024). Ultra-processed food exposure and adverse health outcomes: umbrella review of epidemiological meta-analyses. *BMJ*, 384, e077310, bmj.com/content/bmj/384/bmj-2023-077310.full.pdf.

Malila, Y., et al. (2024). Current challenges of alternative proteins as future foods. *npj Science of Food*, 8(1), 53. doi.org/10.1038/s41538-024-00291-w.

Mancini, S., Moruzzo, R., Riccioli, F., & Paci, G. (2019). European consumers' readiness to adopt insects as food. A review. *Food Research International*, 122, 661-678. doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.041.

Molitorisová, A., & Monaco, A. (2023). *Innovating Food Law With Mycelium: EU Regulations*. Frankfurt am Main: Fachmedien Recht und Wirtschaft (Schriften zum Lebensmittelrecht; 46).

Penker, M., Brunner, K.-M., & Plank, C. (2023). Ernährung. In C. Görg, et al. (Eds.), *APCC Special Report: Strukturen für ein klimafreundliches Leben (APCC SR Klimafreundliches Leben)*: Springer Spektrum: Berlin/Heidelberg.

Quack, D., Wunder, S., Jägle, J., & Meier, J. (2023). Entwicklung von politischen Handlungsansätzen für die Unterstützung stärker pflanzenbasierter Ernährungsweisen. Teilbericht (AP3) des Projekts Nachhaltiges Wirtschaften: Sozialökologische Transformation des Ernährungssystems (STERn) Retrieved from umweltbundesamt.de/publikationen/entwicklung-von-politischen-handlungsansaetzen-fuer.

Takefuji, Y. (2021). Sustainable protein alternatives. Trends in Food Science & Technology, 107, 429-431. doi.org/10.1016/j.tifs.2020.11.012.

WALD: BRÄNDE UND WIEDERHERSTELLUNG (AKTUALISIERT)



© CC0 (Karsten Winegeart/unsplash)

ZUSAMMENFASSUNG

In Österreich kommt es durchschnittlich zu mehr als 200 Waldbränden im Jahr, die größtenteils direkt oder indirekt vom Menschen verursacht werden. Waldbrände haben hohe ökologische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Kosten. Im Zuge des Klimawandels hat sich die Zahl der Brände in den letzten Jahrzehnten bereits stark erhöht, eine weitere Erhöhung der Brandrisiken ist durch längere Trockenperioden und Hitzewellen künftig sehr wahrscheinlich. Fünfzig Prozent des österreichischen Waldes besteht aus Fichten, die besonders brandgefährdet sind. Technologische Fortschritte in der Brandvorhersage und -bekämpfung sowie eine breitere öffentliche Aufmerksamkeit für das Thema können dabei helfen, das Risiko für Waldbrände zu mindern. Die Wiederbesiedlung verbrannter Flächen ist ein äußerst dynamischer Prozess, andere Arten, mehr Laubbäume und geänderte Wiederaufforstungsstrategien werden in Zukunft benötigt.

Klimawandel:
*mehr Brände erfordern
neue Strategien*

ÜBERBLICK ZUM THEMA

Die österreichische Waldbranddatenbank zeigt alle erfassten Waldbrände und unterscheidet zwischen natürlichen, menschengemachten und unbekannten Brandursachen.¹ Österreichweit wurden 2023 bisher über einhundert Brände registriert, Hauptverursacher ist der Mensch. Im gesamten Jahr 2024 wurden 129 Waldbrände registriert, von denen etwa 80 % direkt oder indirekt durch Menschen ausgelöst wurden (im langjährigen Durchschnitt sind es 85 %, weltweit sind etwa 90 % der Waldbrandereignisse menschengemacht). Typische Brandursachen sind unter anderem außer Kontrolle geratene Feuer, weggeworfene Zigaretten (die vermutlich häufigste Ursache), Funkenflug von Eisenbahnen, gekappte Stromleitungen, Brandstiftung (etwa 10 %), heiße Asche oder auch Schießübungen und Feuerwerkskörper.² Glasflaschen und -scherben sind entgegen einer weitverbreiteten Meinung als Brandursache unwahrscheinlich (T. Müller, 2007). Blitzschlag ist die einzige relevante natürliche Waldbrandursache in Österreich, die etwa 15 % der Fälle ausmacht. Nur bei wenigen Fällen ist die Brandursache unbekannt.

Maßgeblich für das Verhalten von Waldbränden sind neben dem Brennmaterial das Wetter und die Topographie. Die Feuchtigkeit von am Boden liegenden Blättern, Nadeln, Gras etc. bestimmt die Entstehungsgefahr, es braucht aber immer einen Brandauslöser. Die höchste Brandgefahr herrscht nach langer Trockenheit bei hohen Temperaturen und starkem Wind (z. B. Föhn). Geosphere Austria (vormals ZAMG) bewertet die aktuelle, meteorologische Waldbrandgefahr aufgrund von Wetterdaten, was in den Sommermonaten sehr genaue Einschätzungen liefert. In den kühleren Jahreszeiten nimmt die Genauigkeit aber ab und auch für das Bergland ist die Abschätzung limitiert.³

Der Klimawandel verursacht einen Anstieg der Temperaturen über Landmassen und damit länger gleichbleibende Wetterverhältnisse, was zu extrem heißen und trockenen Sommerperioden führt. Wenn diese Bedingungen auf bereits trockene Böden und überdurchschnittlich trockene Wälder und Wiesen treffen, ist die Anfälligkeit für Waldbrände sehr hoch (Henner & Kirchengast, 2021). Die jährliche Zahl der Waldbrände hat sich seit den 2000er-Jahren fast verdoppelt. Mehr Hitzetage und ausgeprägtere Trockenperioden durch den menschengemachten Klimawandel sind der Haupttreiber für die gestiegene und auch in Zukunft voraussichtlich steigende Waldbrandgefahr in Österreich. Aber auch steigende Freizeitaktivitäten in der Alpenregion und enger ineinandergrifffende Natur- und Siedlungsräume spielen hier eine Rolle (M. M. Müller et al., 2020).

Auch wenn Brände gehäuft im April und im Hochsommer auftreten, gibt es hierzulande keine echte Waldbrandsaison wie etwa in Südeuropa oder Nordamerika. Die Verteilung der Waldbrände kann, je nach vorherrschendem Wetter in den jeweiligen Jahreszeiten, stark schwanken. Die hiesige Waldstruktur ist auch sehr viel kleinflächiger parzelliert und sehr gut durch Forststraßen erschlossen, was eine Brandbekämpfung erheblich erleichtert. Brände treffen zudem relativ schnell auf Barrieren, die eine weitere Ausbreitung verhindern.

Österreichweit
85 % der Waldbrände
direkt oder indirekt
menschengemacht

Brandgefahr:
Zustand des Waldes,
Wetter und
Topographie
maßgeblich

Klimawandel:
Waldbrände nehmen
auch in den Alpen zu

Vergleich mit
Südeuropa oder
Nordamerika nur
bedingt möglich

¹ fire.boku.ac.at/firedb/de/.

² boku.ac.at/oekb/wald/forschung/themen/bewirtschaftungskonzepte/waldbewirtschaftung-und-klimaanderung/waldbrand.

³ zamg.ac.at/cms/de/wetter/wetter-oesterreich/waldbrand (nur mit login verfügbar).

Trotzdem entstehen jährlich hohe Schäden, die damit verbundenen (längerfristigen) Kosten können nur teilweise ökonomisch abgebildet werden. Hohe direkte Kosten entstehen durch die Brandbekämpfung, Ausrüstung und Instandhaltung der Feuerwehren selbst, durch Ausfall von Nutzholz und verminderter Einkünfte betroffener Waldbesitzer:innen sowie durch Renaturierungsmaßnahmen auf Brandflächen. Waldbrände schädigen die Schutzfunktion von Bergwäldern, was eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber Naturgefahren, wie Lawinen und Muren, nach sich zieht. Es entstehen Verluste von natürlichen Ressourcen, land- und forstwirtschaftliche Nutzflächen werden zerstört und die möglicherweise nachfolgende Bodenerosion schädigt Qualität und Fruchtbarkeit des Bodens, was zu verminderter Produktivität führt. Außerdem wird die Luftqualität durch freigesetzte Schadstoffe teils massiv verschlechtert, wodurch kurz- und langfristige Gesundheitsschäden entstehen – eine zukünftig nicht zu vernachlässigende zusätzliche Belastung des ohnehin schon angespannten Gesundheitssystems. Auch sind solche Gesundheitsschäden ungleich in der globalen Bevölkerung verteilt (Xu et al., 2023). Vermehrte Information zum Gesundheitsschutz der Bevölkerung bei Großbränden könnte helfen beispielsweise Maskentragen, die Nutzung von Luftfiltern oder Daheimbleiben anzuregen. Nicht zuletzt werden erhebliche Mengen an Treibhausgasen freigesetzt, womit vermehrte Waldbrände gleichzeitig Folge und Treiber des Klimawandels sind.

In anderen Ländern sind Gebiete, in denen (Wald-)Vegetation direkt an Siedlungen und Infrastrukturen heranreicht, etwa am Rand vieler Städte, besonders kritische Zonen, da die Entstehungswahrscheinlichkeit von Waldbränden sehr hoch ist und gleichzeitig hohe Schäden zu erwarten sind. In Zukunft könnten diese Gebiete auch in Österreich problematischer werden.

Das Aktionsprogramm Waldbrand des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft definiert konkrete kurz-, mittel- und langfristige Maßnahmen in drei Zielkorridoren (Waldbrand erforschen und verstehen; Gemeinsam Waldbrand vorbeugen und bekämpfen; Wissen über Waldbrand verbreiten und umsetzen). Diese behandeln sieben Aktionsfelder, beispielsweise von der Schaffung harmonisierter Datengrundlagen über gezielte Investitionen in die Brandbekämpfung bis zu zielgerichteten Bildungsangeboten.⁴

Zahlreiche Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten erforschen neue Waldbrandbekämpfungstechnologien. So könnten beispielsweise unbemannte, ferngesteuerte oder automatisierte Fahr- und Flugzeuge (wie etwa Löschedrohnen) die Brandbekämpfung unterstützen. Auf Drohnen installierte 5G-Antennen für mobile Funknetze während des Einsatzes oder unbemannte Segelflieger für Echtzeitbildmaterial können zur Unterstützung der Einsatzkräfte dienen (Czerniak-Wilmes & Jetzke, 2023).

Die KI-gestützte Auswertung komplexer Umweltdaten aus satelliten- oder drohnengestützter Fernerkundung hat in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte bei der Vorhersage von Waldbränden gebracht (siehe auch *Fernerkundung mit KI*). Mit einer Vorhersage einer Brandwahrscheinlichkeit sind allerdings oft weit-

Hohe Schäden und Kosten – kurz- und langfristig

Grenzbereiche von Wäldern und urbanem Raum gewinnen an Brisanz

F&E neuer Waldbrandbekämpfungs-technologien

Vorbeugung durch verbesserte KI-Vorhersage

⁴ schutzwald.at/dam/jcr:25eb5825-44e7-4a6e-9460-5b38977a085c/BML_Publikation_A4_Aktionsprogramm-Waldbrand_V03_WEBVERSION_barrierefrei-1.pdf.

reichende Entscheidungen mit vielen Konsequenzen verknüpft. Gerade im öffentlichen Sektor könnte die Nachvollziehbarkeit und Transparenz der Modelle wichtiger werden, z. B. bei Haftungsfragen. Mittlerweile zeigen hier erste Studien, dass im Feld der Brandvorhersage Anwendungen mit erklärbaren KI-Modellen (explainable AI) gute Ergebnisse liefern. Gerade in Kontexten, in denen menschliche und natürliche Gebiete stark ineinander greifen, könnten erklärbare KI-Modelle in Entscheidungsunterstützungssysteme integriert werden. So könnte KI beispielsweise Forstverwaltungen bei der Verhütung und Eindämmung von Waldbrandkatastrophen unterstützen und Strategien für ein wirksames Brandmanagement, die Reaktion auf, sowie die Erholung der Flächen nach Bränden, oder deren Widerstandsfähigkeit mitentwickeln (Cilli et al., 2022). Eine wichtige Strategie zur Risikominderung besteht darin, ein wirksames System zur Erkennung von Waldbränden zu schaffen, das bei Entdeckung sofort die zuständigen Behörden benachrichtigen kann. Studien zeigen, dass die Anwendung von Deep-Learning-Modellen bei der Überwachung von Waldbränden vielversprechend ist, wobei diese Genauigkeitsraten von über 90 % erreichen (Saleh, 2024). Die Technologie des *digitalen Zwillings* könnte zu einem wertvollen Instrument zur Verbesserung der Vorbeugung und Überwachung von Waldbränden, der Notfallmaßnahmen und der Wiederherstellungsmaßnahmen nach Bränden werden. Durch die Erstellung virtueller Modelle von Waldbränden, die die realen Bedingungen widerspiegeln, ermöglicht eine Plattform für digitale Zwillinge die Integration von Daten aus verschiedenen Quellen – einschließlich Fernerkundung, Wettervorhersagen und bodengestützten Sensoren – und bietet so eine umfassende Perspektive zur Unterstützung von Notfallmaßnahmen und fundierten Entscheidungen (Li, 2024).

Im neuen Regime des Klimawandels ändern sich die Anforderungen an das Waldmanagement. Beispielsweise kann die Widerstandsfähigkeit und Belastbarkeit heimischer Wälder durch die Förderung von brandresistenten, standortsangepassten Baumarten gefördert werden (M. M. Müller et al., 2020). Laub- und Mischwälder sind beispielsweise schwerer entflammbar als Nadelwälder. Rund 50 % der österreichischen Wälder bestehen aus Fichten, die neben der Anfälligkeit für den Borkenkäfer auch besonders brandgefährdet sind. Es wird davon ausgegangen, dass der Fichtenanteil zukünftig besonders in tieferen Lagen zurückgehen wird.⁵ Erforschung und Förderung klimaresistenterer Waldarten und Waldbewirtschaftungsmethoden werden als eine der Prioritäten für zukünftige Studien angesehen (Henner & Kirchengast, 2021).

In Mitteleuropa wurden in den letzten Jahren große Waldflächen bei Bränden zerstört und das Risiko wird in Zukunft zunehmen. Allerdings ist über die Sukzession, also das Nachwachsen verschiedener Arten, Wiederaufforstung und Auswirkungen der Waldbewirtschaftung in dieser Region relativ wenig bekannt. Es zeigte sich in einer rezenten Studie, dass das natürliche Nachwachsen besser funktionierte als die künstliche Wiederaufforstung (Schüle et al., 2023). Die Wiederbesiedlung verbrannter Flächen ist ein äußerst dynamischer Prozess, der von verschiedenen Faktoren abhängt. Die natürliche Regeneration bietet jedoch in vielen Fällen eine schnelle und kostengünstige Möglichkeit der Wiederaufforstung, die durch geeignete waldbauliche Maßnahmen gefördert werden

*Prävention
durch geändertes
Waldmanagement*

*Hoher Wissensbedarf
für Restoration*

*Natürlicher
Nachwuchs und
mehr Laubbäume
als Pioniere*

⁵ fireblog.boku.ac.at/2021/05/12/brandgefährdete-fichte/.

kann. Schüle et al. (2023) empfehlen, überlebende Bäume als grüne Inseln vor Ort zu belassen, um nahe gelegene Samenquellen zu schaffen. Die Störung der Sämlinge sei zu vermeiden, deshalb sollte die Waldbewirtschaftung entsprechend der Lebenszyklen der natürlich gewachsenen Baumsämlinge durchgeführt werden. Vor allem sollten Vorteile von Laubpionierbäumen genutzt werden, um nach Waldbränden langfristig vielfältigere, weniger brandgefährdete Wälder zu schaffen.

Lösungsvorschläge für die neuen Gegebenheiten im europäischen Alpenraum sind etwa: eine Anpassung der Maßnahmen und Technologien zur Brandbekämpfung, z. B. während Perioden von Wassermangel (siehe auch *Diurreresilienz*); oder auch der Einsatz von technischen (kontrollierten) Feuern; die Förderung der Entsendung von spezialisierten Einsatzkräften zur Unterstützung lokaler Einsatzkräfte sowie die Sicherstellung einer schnellen und effizienten Luftunterstützung (M. M. Müller et al., 2020).

RELEVANZ DES THEMAS FÜR DAS PARLAMENT UND FÜR ÖSTERREICH

Die konkrete Waldbrandforschung, -vorbeugung und -bekämpfung ist zwar im Aktionsprogramm Wald (s. o.) bereits verankert, welches so dem steigenden Risiko zukunftsorientiert begegnet. Vor allem bei der Wiederherstellung verbrannter Flächen gibt es zusätzlichen Forschungsbedarf, eventuell müssen traditionelle Aufforstungsmuster überdacht werden und herkömmliche Nadelarten teilweise widerstandsfähigeren Laubbaumarten weichen. Außerdem wäre eine breiter gefasste Betrachtung des Themas sinnvoll, da neben ökologischen und wirtschaftlichen Folgen vermehrte Brände auch eine breitere gesellschaftliche Wirkung entfalten, vor allem wenn Naturräume und Siedlungsgebiete in Zukunft noch enger ineinander greifen. Die Einpreisung langfristiger Folgen vermehrter Brände in bestehende Budgets müsste realistisch erfolgen, z. B. die zu erwartende zunehmende Belastung des Gesundheitssystems durch Klimawandelfolgen wie Waldbrände. Strategien für eine bessere Berücksichtigung des Gesundheitsschutzes der betroffenen Bevölkerung bei Großbränden braucht vermehrte Aufmerksamkeit.

VORSCHLAG WEITERES VORGEHEN

Aus FTA-Sicht wäre die Abschätzung des Forschungs- und Entwicklungsstandes neuer und angepasster Waldbrandbekämpfungstechnologien und -strategien sinnvoll, um eine bessere Wissensgrundlage für die Ausrichtung forschungspolitischer Entscheidungen bereitzustellen. In Bezug auf neue Wiederaufforstungsmaßnahmen wäre ein breiter Stakeholderprozess sinnvoll, auch um Wissensbestände außerhalb der akademischen Wissenschaften, wie beispielweise von privaten Waldbesitzer:innen oder Naturschutzorganisationen abzuholen.

*Abschätzung neuer
Brandbekämpfungs-
technologien,
Wiederaufforungs-
strategien*

ZITIERTE LITERATUR

Cilli, R., et al. (2022). Explainable artificial intelligence (XAI) detects wildfire occurrence in the Mediterranean countries of Southern Europe. *Scientific Reports*, 12(1), 16349, doi.org/10.1038/s41598-022-20347-9.

Czerniak-Wilmes, J., & Jetzke, T. (2023). Waldbrandbekämpfungstechnologien, TAB, Themenkurzprofil Nr. 60, dx.doi.org/10.5445/IR/1000156299.

Henner, D. N., & Kirchengast, G. (2021). How does climate change increase the risk of forest fires in Austria? KKL-ÖAW Study Report.

Li, Y., et al. (2024). Review and perspectives of digital twin systems for wildland fire management. *Journal of Forestry Research*, 36(1), 14, doi.org/10.1007/s11676-024-01810-x.

Müller, M. M., et al. (2020). Waldbrände in den Alpen – Stand des Wissens, zukünftige Herausforderungen und Optionen für ein integriertes Waldbrandmanagement. Vollständig überarbeitete deutsche Fassung des Originals: Forest fires in the Alps – State of knowledge, future challenges and options for an integrated fire management, alpine-region.eu/sites/default/files/uploads/result/2233/attachments/200717_waldbraendealpen_weissbuch_final_online_austria.pdf.

Müller, T. (2007). Verursacht Glas Waldbrände? (Diplomarbeit). TU Braunschweig, soil.tu-bs.de/download/downloads/pubs/2007.AFZ-18-990-TMueller-Verursacht-Glas-Waldbraende.pdf.

Saleh, A., et al. (2024). Forest fire surveillance systems: A review of deep learning methods. *Heliyon*, 10(1), doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23127.

Schüle, M., et al. (2023). Early natural tree regeneration after wildfire in a Central European Scots pine forest: Forest management, fire severity and distance matters. *Forest Ecology and Management*, 539, 120999, sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112723002335.

Xu, R., et al. (2023). Global population exposure to landscape fire air pollution from 2000 to 2019. *Nature*, 621(7979), 521-529, doi.org/10.1038/s41586-023-06398-6.

GESUNDHEITLICHE FOLGEN DER DIGITALISIERUNG (AKTUALISIERT)



© CC0 (Karsten Winegeart/unsplash)

ZUSAMMENFASSUNG

Mobiltelefone sind heute fast immer Smartphones, und Kinder bekommen immer früher ein erstes eigenes Gerät. Schon ab der 3. Schulstufe hat die Mehrheit der Kinder ein eigenes Smartphone. Diese Geräte binden besonders bei jungen Menschen (aber auch Erwachsenen) die Aufmerksamkeit; ihr Vorhandensein und Auf-Sich-Aufmerksam-Machen unterbrechen fast jede andere Tätigkeit. Es gibt Befunde für manifeste physische und vor allem psychische Schwierigkeiten bis hin zu Krankheiten, die durch die zu häufige und/oder zu lange Nutzung von Smartphones hervorgerufen werden können. Es ist erforderlich, Kindern eine gesundheitskompetente Nutzung digitaler Medien zu ermöglichen, indem förderlicher Umgang mit diesen Medien Teil von Erziehung und Bildung wird.

Welche Folgen hat ein problematisches Nutzungsverhalten digitaler Medien auf die Gesundheit?

ÜBERBLICK ZUM THEMA

In Österreich ist seit 1. Mai 2025 ein Verbot von Mobiltelefonen und ähnlichen Geräten an Schulen bis zur achten Schulstufe in Kraft.¹ Dies erfolgte nach langen Diskussionen über ein generelles Verbot, wobei Gegenstimmen Zweifel an dessen Sinnhaftigkeit² und Durchsetzbarkeit äußerten. In der Diskussion über „Handyverbote“ werden häufig zwei Extrempositionen sichtbar: zurück zu einer „gesunden“ Kindheit wie früher, ohne Internet und Smartphones, versus einer längst überfälligen Modernisierung. Letztendlich ist die Situation aber deutlich differenzierter zu betrachten. Nicht nur war früher nicht alles gut für Kinder, es hat die Digitalisierung auch viele Vorteile gebracht, und ein Zurückdrehen der Zeit ist weder sinnvoll noch möglich. In den vergangenen Jahren gab es viele Studien zum Thema der gesundheitlichen Folgen von Digitalisierungsvorgängen, bspw. in der Kommunikation. Dennoch gibt es noch eine Reihe offener Fragen, was nicht zuletzt auch am Fehlen von Langzeitstudien liegt.

Braucht es ein „Handyverbot“?

Digitalisierung führt zu zahlreichen Veränderungen, nicht alle lassen sich als Krankheit klassifizieren. Diese Entwicklung führt zu Unsicherheit und Überforderung bei Erziehungsberechtigten und Lehrenden, während die Schüler:innen einem wachsenden sozialen Druck zu verstärkter Nutzung digitaler Medien ausgesetzt sind, bei gleichzeitigem Fehlen erforderlicher Kompetenzen im Umgang mit diesen Medien und deren Inhalten.³

Was bedeutet die Digitalisierung für Schulen und Schüler:innen?

Smartphones bedeuten für mit Smartphone aufgewachsene Jugendliche – sog. Cellular Natives (Rosenberg & Blondheim 2025) – etwas anderes als für Ältere:⁴ Während Menschen, die nicht damit aufgewachsen sind, Smartphones als Kommunikationsmittel, Kamera, Wecker, zur Informationsbeschaffung oder zur Unterhaltung gebrauchen, hat sich die Nutzung bei jüngeren Menschen verschoben bzw. erweitert. Es ist einerseits ein Fenster zu einer Welt, in der Kinder ohne Eltern auf Entdeckungsreise gehen.⁵ Andererseits findet vor allem im jugendlichen Alter viel mehr Kommunikation über das Smartphone statt. Diese dient jedoch nicht nur dem Austausch von Informationen, sondern kreiert auch eine virtuelle Gruppe, zu der man gehört, wenn man erreichbar ist, und von der man sich ausgeschlossen fühlt, wenn man offline ist. Es ist wie die gegenseitige Versicherung, anwesend zu sein (vgl. Konzept von „co-presence“, bspw. Urry 2002). Es findet auch viel mehr Selbstdarstellung über dieses Gerät statt, als das bei Älteren der Fall ist. Dadurch ist ein Entzug des Geräts bei Jugendlichen besonders schwierig.⁶

Warum sind Smartphones für Jugendliche wichtig?

Nomophobia⁷ ist ein seit 2008 bestehendes Kofferwort für „no mobile phone phobia“. Es beschreibt die Symptome von Angstzuständen und Entzug, die bei defekten Geräten, leerem Akku oder mangelnder Netzbdeckung auftreten, so-

Was ist Nomophobia?

¹ bmb.gv.at/Themen/schule/zrp/dibi/saferinternet/faq_handy.html.

² edu.de/lp/smartphones-in-schulen.

³ Digital Economy and Society Index (DESI) der Europäischen Kommission, Länderprofil Österreich 2022: digital-strategy.ec.europa.eu/de/policies/desi-austria.

⁴ elternguide.online/jugendliche-und-ihre-smartphone/.

⁵ Wagner beschreibt das in „Die Generation Digital“ (S. 22) als „Geheimen Garten“.

⁶ Zu den Folgen der Medienexposition in der frühen Kindheit siehe GAIMH 2022.

⁷ Zu den Ursachen siehe Vagka 2023; verwandt: FOMO – fear of missing out.

dass die Nutzer:innen also nicht mehr online und erreichbar sein können.⁸ Nomophobia ist als Resultat einer Abhängigkeit von Smartphones zu sehen und äußert sich symptomatisch ähnlich wie andere nicht stoff-gebundene Abhängigkeiten. Nomophobia wurde in das DSM-5⁹ noch nicht aufgenommen, basierend auf Spezifikationen aus DSM-4 jedoch als „specific phobia“ vorgeschlagen (Bragazzi 2014) und als Syndrom, beschrieben¹⁰, dem häufig andere psychische Krankheitsbilder zugrunde liegen. Im ICD-11¹¹ kommt Nomophobia ebenfalls nicht vor, dafür seit der letzten Auflage neben Internetsucht auch Gaming Disorder (Computerspielsucht). Wie Turkle (2011) ausführt, kommt es auch dazu, dass Menschen sich hinter der „Wand“ aus Technologie verstecken, um sozialen (und damit synchron stattfindenden) Kontakten mit anderen auszuweichen.

Rezente Studien zeichnen von der Charakterisierung der Smartphone-Nutzung als Abhängigkeit ein differenzierteres Bild. So hat ein Experiment unter 80 israelischen Jugendlichen trotz der Selbstbezeichnung einiger Studienteilnehmer:innen als „abhängig“ gezeigt, dass 79 der Proband:innen überraschenderweise eine ganze Woche ohne Smartphone durchgehalten haben (Rosenberg & Blondheim 2025). Die Autor:innen erklären sich diese überraschend hohe Rate damit, dass sich im Laufe des „Entzugs“ andere Formen der Befriedigung einstellten, etwa durch intensivere Interaktionen mit dem unmittelbaren sozialen und physischen Umfeld: Es ergeben sich „neue“ Möglichkeiten des Austauschs mit Schulkolleg:innen, Familienangehörigen und die aufmerksamere Wahrnehmung der Umwelt, aber auch die bessere Konzentration auf den Unterricht. Teilnehmer:innen berichteten im Anschluss an den „Entzug“, dass sie die Zeit ohne Smartphone vermissten – was die anderen Formen von Befriedigung ohne Smartphone unterstreicht.

Smartphone-Abstinenz von Jugendlichen auch positiv bewertet

Die übermäßige Nutzung (Dauer und Häufigkeit) sowohl von Mobiltelefonen als auch sozialen Medien hat gesundheitliche Auswirkungen (BMSGPK 2020, zu Internet siehe EPRS 2019). Es besteht eine klare positive Korrelation zwischen Bewegungsmangel und langer Bildschirm- bzw. Smartphone-Nutzung pro Tag (Quehenberger 2020), sowie zwischen intensiver Smartphone-Nutzung und einem generell ungesunden Lebensstil (Koivusilta 2005). Chronifiziert sich das Verhalten, führt der Bewegungsmangel zu weiteren Folgen wie Übergewicht, Herz-Kreislauf-Erkrankungen sowie im jugendlichen Alter, in dem Bewegung besonders wichtig ist, auch zu psychischen Problemen. Zusätzlich scheint auch die Kurzsichtigkeit in der Bevölkerung zuzunehmen, was auf mehr Zeit vor dem Bildschirm und weniger Zeit in der Natur zurückgeführt wird.¹² Es gibt auch Hinweise auf eine verringerte Lebenszufriedenheit bei häufiger Nutzung von Mobiltelefonen (Volkmer 2019). Die Kausalität ist hier noch unklar. Es könnten bereits existierende psychische Probleme dazu führen, dass vermehrt emotionale

Die gesundheitlichen Folgen eines problematischen Nutzungsverhaltens

⁸ [theguardian.com/technology/2023/sep/11/lost-your-phone-and-feel-your-life-falling-apart-youve-got-nomophobia](https://www.theguardian.com/technology/2023/sep/11/lost-your-phone-and-feel-your-life-falling-apart-youve-got-nomophobia).

⁹ Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (Hg.: APA – American Psychiatric Association).

¹⁰ en.wikipedia.org/wiki/Nomophobia.

¹¹ International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems (Hg.: WHO – World Health Organisation).

¹² PostNote 653 (2020): Screen use and health in young people, researchbriefings.files.parliament.uk/documents/POST-PN-0635/POST-PN-0635.pdf.

Entlastung durch Kontakt zu Freunden und Familie via Smartphone gesucht wird, wodurch erst die negativen Folgen der hohen Bildschirmzeit ausgelöst werden.¹³ Walsh et al (2018) berichten, dass bei Kindern auch die kognitive Entwicklung durch eine Bildschirmzeit von mehr als zwei Stunden pro Tag negativ beeinflusst wird. Jugendliche nutzen Smartphones am häufigsten für Soziale Medien. Hier ergeben sich auch Zusammenhänge mit Krankheitsbildern auf Grund der Interaktionen und der problematischen Nutzung dieser Plattformen. So wird die Entwicklung zu depressiven Episoden bis hin zu Depressionen mit erhöhter Suizid-Wahrscheinlichkeit unterstützt. Essstörungen und geringes Selbstwertgefühl werden auch verschlimmert (BMSGPK 2020). Zusätzlich psychisch belastend können Cybermobbing, Grooming, Hate Speech u. ä. problematische Verhaltensweisen online sein. Auch jüngere Studien bestätigen die Einschätzung, dass starke Nutzung von Smartphones und Sozialen Medien negative Auswirkungen auf die Gesundheit von Jugendlichen hat (Goodyear et al. 2025).

Das alles ist auch vor dem Hintergrund der Pandemie zu sehen, während der Jugendliche auch auf Grund dieser Umstände schon stark belastet waren. Lockdowns, Abstandthalten, Homeschooling u. dgl. haben ebenfalls den Stellenwert von und den Umgang mit Smartphones verändert und so zu einer „erzwungenen“ Verhaltensänderung beigetragen. Die Grenzziehung zwischen krankhaftem Verhalten, Abhängigkeit und neuer kultureller Praktik ist Gegenstand der Forschung. Jedenfalls sind die Jugendlichen mehreren Faktoren ausgesetzt, die zu hoher psychischer Belastung führen, bei einer gleichzeitig bestehenden dramatischen Unterversorgung im psychiatrischen und therapeutischen Bereich in Österreich.

*Hohe psychische
Belastung bei
Jugendlichen*

Es sind jedoch alle Altersgruppen von einer möglichen Abhängigkeit betroffen. Im Jugendalter besteht die höchste Gefahr, die mit fortschreitendem Alter leicht abnimmt. Tendenziell sind Menschen mit höherer Bildung und höherem Einkommen weniger betroffen als andere Bevölkerungsgruppen. Die fehlende Kompetenz im Umgang mit digitalen Medien lässt sich jedoch durch die gesamte Bevölkerung feststellen (BMSGPK 2020).

*Demographische
Faktoren*

Bei all den positiven Effekten der Vernetzung, unmittelbarer Telekommunikation oder dem raschen Zugang zu Wissen, sollten diese nicht nur mit den Nachteilen durch Fakenews, Cybermobbing u. ä. abgewogen werden, sondern es bedarf auch eines genaueren Blicks auf die gesundheitlichen Auswirkungen und die kindliche Entwicklung mit dem Ziel der gesundheitskompetenten Nutzung digitaler Medien. Eine kürzlich veröffentlichte Studie untersuchte die Auswirkung von Smartphone-Verboten an Schulen auf die mentale Gesundheit von Jugendlichen (Goodyear et al. 2025). Die Studie zeigte, dass kein Unterschied bei der Smartphone- und Social-Media-Nutzung bzw. mentalen Gesundheit in den Vergleichsgruppen zu finden war. Während die Nutzung in der Schule anders war, dürfte die Nutzung außerhalb der Schule nicht reduziert gewesen sein. Nicht untersucht wurden jedoch, ob sich durch das Verbot Schulverhalten wie direkte Interaktionen oder Mobbing verbessert haben. Ob Smartphone-Verbote an der Schule für sich genommen wirklich erfolgreich sind, ist daher fraglich. Vielmehr müsste auch die Nutzung außerhalb der Schule in den Blick genommen werden.

*Smartphone-Verbot an
Schulen hat für sich
wenig positive
Auswirkungen auf
Gesundheit*

¹³ Vgl auch Schmutzlers (1994, Kap. 8) Beschreibung von Technik als Sozialersatz.

RELEVANZ DES THEMAS FÜR DAS PARLAMENT UND FÜR ÖSTERREICH

Die Gesundheit, v. a. von Kindern und Jugendlichen, ist als ein Thema der Fürsorgepflicht des Staates zu sehen, aber auch als Vorsorgemaßnahme, um zukünftig hohe Kosten im Gesundheitssystem zu vermeiden (lange Krankenstände und hohe Behandlungskosten bei psychischen Krankheitsbildern). Darüber hinaus bedarf es aber ergänzender Maßnahmen, um eine wünschenswerte Kindheit und Jugend zu ermöglichen. Hier hat die amtierende Bundesregierung mit dem o. g. Smartphone-Verbot an Schulen kürzlich geänderte Rahmenbedingungen in einem wichtigen Teilbereich des Lebens von Kindern und Jugendlichen geschaffen.

Auf EU-Ebene wurden verschiedene Verbraucher:innenschutzvorschriften dahingehend evaluiert, ob sie im digitalen Umfeld ausreichend Schutz gewähren.¹⁴ Speziell wurde dabei auch auf sogenannte „Dark Patterns“ und suchterzeugende Nutzungsmuster abgestellt. Die Evaluierung beschied den aktuellen Regulierungen nur eingeschränkte Wirksamkeit. Hier könnte sich Österreich aktiv in den laufenden Diskurs auf EU-Ebene einbringen, um die Wirksamkeit zu erhöhen.

*Fürsorgepflicht
und Prävention*

*Mangelnde
Wirksamkeit
des aktuellen
Verbraucherschutzes*

VORSCHLAG WEITERES VORGEHEN

Zielführend wäre eine breit angelegte TA-Studie, die einerseits das über verschiedene Disziplinen fragmentierte Wissen zu dem Thema zusammenführt und Wissenslücken sichtbar macht, andererseits die speziellen Herausforderungen der Situation in Österreich herausarbeitet. Diese Studie könnte als Entscheidungsgrundlage für weitere Forschungsarbeiten bzw. regulative oder Fördermaßnahmen in verschiedenen Bereichen (z. B. (Erwachsenen-)Bildung, Präventivmaßnahmen im Gesundheitssystem etc.) dienen. Darüber hinaus kann dem Mangel an Langzeitstudien insofern begegnet werden, indem eine regelmäßige Erfassung der Merkmale problematischen Verhaltens sowie der generellen (psychischen) Gesundheit in Auftrag gegeben würde. Insbesondere sollte das Smartphone-Verbot an Schulen evaluiert werden, inwiefern es tatsächlich zu besserer Gesundheit der Kinder und Jugendlichen (siehe englische Studie oben) oder zumindest einer Verbesserung der Situation im Schulkontext führt.

*Wissenslücken
schließen und
Kompetenzen
verbessern*

¹⁴ ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13413-Digitale-Fairness-Eignungsprüfung-des-EU-Verbraucherrechts_de.

ZITIERTE LITERATUR

BMSGPK (Felder-Puig, R., et al.) (2020): Nutzung von Smartphones und sozialen Medien durch österreichische Schülerinnen und Schüler, IfGP, Wien, ifgp.at/cdscontent/load?contentid=10008.740264&version=1697732115.

Bragazzi, N., Del Puente, G. (2014): A proposal for including nomophobia in the new DSM-V. *Psychology research and behavior management*, 7, 155–160, doi.org/10.2147/PRBM.S41386.

EPRS – European Parliamentary Research Service, Scientific Foresight Unit (STOA, Autorinnen: Lopez-Fernandez, O., Kuss, D. (2019): Part I: Internet addiction and problematic use, [europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2019/624249/EPRS_STU\(2019\)624249_EN.pdf](http://europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2019/624249/EPRS_STU(2019)624249_EN.pdf).

GAIMH – German Speaking Association for Infant Mental Health (Hg.) (2022): Positionspapier: Digitale Medien und frühe Kindheit, Eigenverlag, Wien.

Goodyear, V. A., Randhawa, A., Adab, P., Al-Janabi, H., Fenton, S., Jones, K., Michail, M., Morrison, B., Patterson, P., Quinlan, J., Sitch, A., Twardochleb, R., Wade, M., & Pallan, M. (2025): School phone policies and their association with mental wellbeing, phone use, and social media use (SMART Schools): A cross-sectional observational study. *The Lancet Regional Health – Europe*, 51, 101211. doi.org/10.1016/j.lanepe.2025.101211.

Koivusilta, L., Lintonen, T., Rimpelä, A. (2005): Intensity of mobile phone use and health compromising behaviours—how is information and communication technology connected to health-related lifestyle in adolescence?, *Journal of Adolescence*, Vol. 28, Issue 1, S. 35-47, doi.org/10.1016/j.adolescence.2004.05.004.

Quehenberger, V., et al. (2020): Gesundheitskompetente Smartphone-Nutzung. Hilfreiche Tools für Eltern, Kinder und Jugendliche, IfGP, Wien, ifgp.at/cdscontent/load?contentid=10008.739660&version=1602062426.

Rosenberg, H., & Blondheim, M. (2025): What (missing) the smartphone means: Implications of the medium's portable, personal, and prosthetic aspects in the deprivation experience of teenagers. *The Information Society*, 1–17. doi.org/10.1080/01972243.2025.2490487.

Schmutzler, M.E.A. (1994): *Ingenuum und Individuum – Eine sozialwissenschaftliche Theorie von Wissenschaft und Technik*, Springer, Wien/New York.

Turkle, S. (2011): *Alone Together: Why We Expect More from Technology and Less from Each Other*; Hachette UK/London.

Urry, J. (2002): Mobility and Proximity, *Sociology*, 36(2), 255-274. doi.org/10.1177/0038038502036002002.

Vagka, E., et al. (2023): Prevalence and Factors Related to Nomophobia: Arising Issues among Young Adults. *Eur. J. Investig. Health Psychol. Educ.* 2023, 13, 1467-1476. doi.org/10.3390/ejihpe13080107.

Volkmer, S. A., Lermer, E. (2019): Unhappy and addicted to your phone? – Higher mobile phone use is associated with lower well-being; *Computers in human behavior*, 93, 210-218, doi.org/10.1016/j.chb.2018.12.015.

Wagner, L. (2019): *Die Generation Digital*, Leykam, Wien/Graz.

Walsh, J., et al. (2018): Associations between 24 hour movement behaviours and global cognition in US children: a cross-sectional observational study, *The Lancet Child and Adolescent Health*, 2(11), [doi.org/10.1016/S2352-4642\(18\)30278-5](https://doi.org/10.1016/S2352-4642(18)30278-5).

KOLLABORATIVE INDUSTRIEROBOTER (AKTUALISIERT)



© CC0 (Thomas Bayer/DALL-E)

ZUSAMMENFASSUNG

Roboter spielen eine wichtige Rolle in der Automatisierung industrieller Fertigung. Bislang werden die meisten in eigenen Sicherheitszonen installiert, um Mitarbeiter:innen nicht zu gefährden. Die Weiterentwicklung zu kollaborativen Robotern (Cobots) soll die Vorteile von Robotern mit den Fähigkeiten von Menschen verbinden. Cobots sind zwar in der Regel etwas weniger leistungsfähig als normale Industrieroboter, kosten aber auch weniger, sind flexibler und leichter zu programmieren, was sie für KMU interessant macht. Bei der Kooperation von Mensch und Maschine ist die Gestaltung menschengerechter Arbeitsumgebungen die zentrale Herausforderung. Für dieses komplexe System aus Mensch, Maschine und Produktionssystem braucht es klare Richtlinien, weiterhin ein entsprechendes Forschungsbudget, Ausbildung aller damit Befassten und nicht zuletzt eine umfassende ethische Bewertung des Gesamtsystems.

Cobots – eine neue Generation von Robotern mit neuen Herausforderungen

ÜBERBLICK ZUM THEMA

Einen wesentlichen Anteil an der Automatisierung der industriellen Fertigung in der sogenannten 3. industriellen Revolution haben Industrieroboter. Diese übernehmen mittlerweile einen großen Teil schwerer, repetitiver Arbeiten. Sie sind in der Regel in eigenen Schutzzonen installiert, sodass sie für Mitarbeiter:innen keine Gefahr darstellen. Die Vision von *Industrie 4.0* mit hoher Flexibilität, Nachfrageorientierung, entsprechend geringen Losgrößen und höchstem Automatisierungsgrad war in den letzten Jahren Antrieb für große Anstrengungen, die Vorteile der Roboterfertigung, wie hohe Geschwindigkeit, große Kraft und Präzision mit den Vorteilen menschlicher Arbeit wie Erfahrungswissen, Entscheidungsfähigkeit, Flexibilität und Geschicklichkeit zu vereinen. Dies führte zur Entwicklung sogenannter „kollaborativer Roboter“ (Cobots), die mit dem Menschen zusammenarbeiten sollen. Cobots sind mittlerweile sehr gefragt und die Verkaufs- und Installationszahlen steigen ständig. Dennoch stellen diese nur einen geringen Anteil an der gesamten Robotik dar. Nur etwa 7,5 % des globalen Marktes für Industrieroboter sind Cobots, allerdings ist ihr Zuwachs – mit etwa 50 % – höher als im Gesamtmarkt. Die Key-Player in diesem Marktsegment sind europäische Firmen. Sie sind aber in Gefahr aus dem Asiatisch-Pazifischen Raum überholt zu werden (Gambao, 2023).

Lange Zeit waren vor allem Sicherheitsbedenken ausschlaggebend, dass die direkte Interaktion von Menschen mit Robotern nicht realisiert werden konnte. Roboter sind zu schnell, zu kräftig und nicht kontext-sensitiv, können also ihre Umgebung nur unzureichend wahrnehmen. Vieles davon konnte durch *verbesserte Sensortechnik*, schnellere Hardware und künstliche Intelligenz wesentlich verbessert werden. Die Idee, die Vorteile von Robotern und menschliche Fähigkeiten gleichermaßen zu nutzen, ist naheliegend, aber nicht neu. Ein erstes Patent geht auf James E. Colgate und Michael A. Peshkin zurück und stammt aus dem Jahr 1997. Zuvor schon beschrieben sie ein „Intelligent Assist Device (IAD)“ (Colgate et al., 1996) als „ein(en) Apparat und eine Methode zur direkten physischen Interaktion zwischen einer Person und einem Allzweck-Manipulator der von einem Computer gesteuert wird.“¹

Basierend auf der möglichen Intensität der Zusammenarbeit von Mensch und Maschine können unterschiedliche Cobot-Kategorien beschrieben werden. Diese reichen vom einfachen Nebeneinander ohne gemeinsamen Arbeitsbereich bis zu tatsächlicher, aufeinander reagierender Zusammenarbeit. Derzeit überwiegen in der Praxis eher einfache Anwendungen, die oft gar keine Mensch-Maschine-Interaktion realisieren. Oft werden Cobots wie herkömmliche Roboter eingesetzt, um dabei bestimmte Vorteile von Cobots auszunutzen. Dazu zählen der in der Regel geringere Investitionsbedarf und eine einfachere Programmierung. Cobots sind durch die Notwendigkeit, auf mögliche Interaktionen mit Menschen Rücksicht nehmen zu müssen, allerdings leichter und etwas weniger leistungsfähig als herkömmliche Industrieroboter. Diese Eigenschaften machen Cobots besonders interessant für den Einsatz in KMUs. Die hauptsächlichen Einsatzbereiche sind derzeit: Installation von Teilen, Montage, Beladen von Werkzeugmaschinen, Palettierung, Messtechnik, Fertigstellung, Qualitätskontrolle, Schweißen, Mate-

*Cobots –
Kollaborative Roboter:
ein Hoffnungsmarkt*

*Mensch und Maschine
sollen
zusammenarbeiten*

*Nicht ganz so schnell,
dafür KMU geeignet*

¹ de.wikipedia.org/wiki/Kollaborativer_Roboter.

rialabtrag und Schrauben.² Es gibt aber auch außerhalb der produzierenden Industrie verschiedene Anwendungsfälle für Cobots (Rahman et al. 2024), insbesondere in Logistik, Medizin und auch Landwirtschaft – etwa werden zur Unterstützung bei der Pflanzung und Ernte bereits Cobots eingesetzt.

Die direkte Interaktion zwischen Mensch und Roboter kann gleichzeitig der größte Vorteil und die größte Einschränkung kollaborativer Systeme sein, je nachdem, wie sie sich auf menschlichen Faktoren wie Ergonomie und psychische Belastung auswirkt (Faccio et al., 2023). Hier liegt auch der Schwerpunkt der neueren Arbeiten, die dem Thema „menschenzentrierte Arbeitsumgebungen“ gewidmet sind. Die Forschung dazu nimmt Aspekte jenseits reiner Leistungsdaten in den Blick und untersucht innerhalb des Gesamtsystems (Mensch, Cobot, Produktionsystem) die Wechselwirkungen zwischen den Akteuren und deren Rahmenbedingungen. Zu den Faktoren, die die menschliche Seite der Kooperation beeinflussen bzw. durch diese beeinflusst werden, zählen Ergonomie, geistige Beanspruchung, Vertrauen, Akzeptanz und Usability. Die Aspekte auf Seiten der Cobots sind Mobilität, Anpassungsfähigkeit, Konnektivität, Bedienung, Konstanz und Sicherheit. Für moderne Produktionssysteme gelten Flexibilität, Kostenorientierung, Rekonfigurierbarkeit, Vernetzung und Agilität (Faccio et al., 2023) als besonders wichtig. Dies zeigt die hohe Komplexität derartiger Systeme.

*Kooperation
ist höchst komplex
und erfordert mehr als
reine Leistungsdaten*

In experimenteller Form gibt es bereits Systeme, bei denen beispielsweise zwei Personen mit einem Roboterarm arbeiten (Collaborative Avatar Platform), um so verteilte Rollen im Bewegungsablauf zu übernehmen oder gemeinsam Bewegungen auszuführen, die eine Person alleine nicht durchführen kann.³ In einer anderen Anwendung konnte gezeigt werden, dass eine Person mit technischer Unterstützung auch in der Lage ist, mit mehreren Armen gleichzeitig komplexe Bewegungen auszuführen.⁴ Es ist jedoch notwendig, die Risiken und Chancen dieser Technologie und ihre möglichen sozialen, wirtschaftlichen und ethischen Auswirkungen zu analysieren.

In einer rezenten STOA-Studie (Gambao, 2023) werden der aktuelle Stand der kollaborativen Robotik sowie ihre Vor- und Nachteile dargestellt, wobei der Schwerpunkt auf Schlüsselaspekten wie der Sicherheit liegt.

Die in der Studie dargestellten Politikoptionen lauten:

- Entwicklung klarerer Vorschriften für die Bedingungen von Mensch-Roboter-Interaktion und die Sicherheitsbewertungen unter Bedachtnahme auf die Gesundheit und das Wohlbefinden der Arbeitnehmer:innen wie auch der Konkurrenzfähigkeit und Weiterentwicklungsmöglichkeit von Cobots;
- Beibehalten oder sogar Erhöhen des Budgets für Forschungstätigkeiten, bei denen die Mensch-Roboter-Interaktion oder die kollaborative Robotik eine Rolle spielen, um die führende Position der europäischen Unternehmen bei der Umsetzung von Industrie 4.0 und insbesondere der kollaborativen Robotik aufrechtzuerhalten;

Was es braucht:

klare Richtlinien

Forschungsbudget

² industriemagazin.at/produktionstechnologie/hier-sind-cobots-fuer-die-industrie-wirklich-sinnvoll/.

³ sa2021.siggraph.org/en/attend/emerging-technologies/18/session_slot/633.

⁴ sa2021.siggraph.org/en/attend/emerging-technologies/18/session_slot/626.

- Fördern von Maßnahmen, die die Schaffung neuer realer Anwendungen mit einem hohen Maß an Interaktion unterstützen, und der Ausbildung aller relevanten Akteure in dieser Technologie;
- Fördern ethischer Bewertungen, um eine sichere Mensch-Roboter-Kollaboration, die Akzeptanz durch die Arbeitnehmer:innen und den Schutz der Privatsphäre zu gewährleisten. Es ist eine viel umfassendere ethische Analyse erforderlich, die auch andere grundlegende Aspekte wie Akzeptanz, ergonomische Aspekte, Privatsphäre oder möglichen psychischen Stress für die Benutzer:innen einbezieht.

*Ausbildung und
umfassende ethische
Bewertung*

Auch wenn die Realität von den Visionen von humanoiden Systemen, die auch komplexere Manipulationsaufgaben in unstrukturierten Umgebungen selbstständig durchführen können (Kehl & Coenen, 2016) noch immer entfernt ist, gibt es viel zu tun, um kooperative, roboter-unterstützte und menschenzentrierte Arbeitsumgebungen zu gestalten.

RELEVANZ DES THEMAS FÜR DAS PARLAMENT UND FÜR ÖSTERREICH

Der Einsatz von Industrierobotern in Österreich wurde vor kurzem in zwei unterschiedlichen Studien untersucht. Demnach setzen 38 % der Unternehmen mehr als zehn traditionelle Industrieroboter in der Produktion ein. Der aktuelle Bestand an kollaborationsfähigen Industrierobotern ist deutlich geringer, denn nur 33 % der roboternutzenden Firmen betreiben Cobots (Clauss et al., 2022). Zu ähnlichen Ergebnissen kommen Zahradník und Rhomberg (2022), die festhalten, dass 41 % der Betriebe Industrieroboter für Fertigungs- und/oder Handhabungsprozesse einsetzen und ein weiterer starker Anstieg beim Einsatz aller Formen der Robotik bis 2025 zu erwarten sei. Es wurde erwartet, dass sich auch der Einsatz von Cobots bzw. mobilen Robotern bis 2025 verdoppelt. Dem scheint aber nicht so zu sein: In einer Studie zur Produktionsarbeit in Österreich zeigte sich, dass sowohl 2023 als auch 2024 der Einsatz von Cobots rückläufig war (Granegger et al. 2024). Die Studienautor:innen konstatieren entsprechend einerseits eine Ernüchterung, andererseits aber auch einen differenzierteren und gezielteren Einsatz. Ob ein Zusammenhang mit der konjunkturellen Flaute besteht, haben die Autor:innen nicht untersucht. Eine andere Erklärung könnte sein, dass Cobots aufgrund ihrer reduzierten Leistungsfähigkeit viele ursprüngliche Stärken von Robotern (hohe Kraft) nicht ausspielen und damit etablierte Industrieroboter nicht ersetzen können (Urrea & Kern 2025). Urrea und Kern konstatieren außerdem, dass im Bereich Cobots der praktische Einsatz der Forschung hinterherhinkt.

*Cobots in der
österreichischen
Industrie*

Vor diesem Hintergrund erscheint es für österreichische Entscheidungsträger:innen neben der Beteiligung an internationalen bzw. europäischen Aktivitäten in Forschung, Entwicklung und Governance besonders relevant, die aktuellen Rahmenbedingungen für die Entwicklung und Produktion sowie für den Einsatz kollaborativer Roboter in Österreich weiter zu entwickeln. Wie oben ausgeführt bedarf es weiterer Adaptierungen von Arbeitsschutzbestimmungen, Standards und anderer (Sicherheits-)Richtlinien, zusätzlicher Forschungsaufwendungen, z. B. für eine menschenzentrierte Mensch-Roboter-Interaktion (MRI) und zusätzlicher umfassender ethischer Bewertung der MRI im Generellen, wie auch in konkreten Anwendungskontexten.

*Rückgang der Cobot-
Nutzung 2023 und 2024
in Österreich*

VORSCHLAG WEITERES VORGEHEN

Eine TA-Studie zu Cobots im österreichischen Umfeld könnte in einem ersten Schritt ein Themenprofil sein, das in etwa 1-2 Monaten eine Übersetzung der o. g. STOA-Studie in einer auf Österreich angepassten Form erstellt. Insbesondere sind dabei Fragen von Sicherheit und Arbeitsbedingungen, Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt sowie andere soziale, wirtschaftliche, ökologische und ethische Aspekte gemeint.

*Themenprofil
Cobot Austria*

ZITIERTE LITERATUR

Clauss, K., et al. (2022). *Studie zum Robotereinsatz in der österreichischen Industrie – Wirtschaftlicher Einfluss von Industrierobotern in österreichischen produzierenden Unternehmen*, fraunhofer.at/content/dam/austria/documents/studien/Studie%20zum%20Robotereinsatz%20in%20der%20%C3%B6sterreichischen%20Industrie_Fraunhofer%20Austria.pdf.

Colgate, J. E., et al. (1996). Cobots: Robots for collaboration with human operators. *American Society of Mechanical Engineers, Dynamic Systems and Control Division*, 58, 433–439.

Faccio, M., et al. (2023). Human factors in cobot era: a review of modern production systems features. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 34, 85–106, doi.org/10.1007/s10845-022-01953-w.

Gambao, E. (2023). *Analysis exploring risks and opportunities linked to the use of collaborative industrial robots in Europe*, [europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2023/740259/EPRS_STU\(2023\)740259_EN.pdf](https://europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2023/740259/EPRS_STU(2023)740259_EN.pdf).

Granegger, T., Eisl, S., Mayrhofer, W., & Schlund, S. (2024). *Made in Austria: Produktionsarbeit in Österreich 2024*. Technische Universität Wien. doi.org/10.34726/1541.

Kehl, C., & Coenen, C. (2016). *Technologien und Visionen der Mensch-Maschine-Entgrenzung: Sachstandsbericht zum TA-Projekt »Mensch-Maschine-Entgrenzungen: zwischen künstlicher Intelligenz und Human Enhancement«*, publikationen.bibliothek.kit.edu/1000063606.

Rahman, M., Khatun, F., Jahan, I., Devnath, R., & Bhuiyan, A.-A. (2024). Cobotics: The Evolving Roles and Prospects of Next-Generation Collaborative Robots in Industry 5.0. *Journal of Robotics*, 2024, 1–22. doi.org/10.1155/2024/2918089.

Urrea, C., & Kern, J. (2025). Recent Advances and Challenges in Industrial Robotics: A Systematic Review of Technological Trends and Emerging Applications. *Processes*, 13(832), 1–20. doi.org/10.3390/pr13030832.

Zahradník, G., & Rhomberg, W. (2022). EMS 2021 – Modernisierung der Produktion: Basisauswertung, zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.8047520, zenodo.org/records/8047521.

3 AKTUELLE EPTA-STUDIEN

*European Parliamentary Technology Assessment (EPTA)*¹ ist ein Netzwerk von Einrichtungen, die direkt für ihre jeweiligen Parlamente Studien im Bereich Technikfolgenabschätzung erstellen. Aktuell hat das Netzwerk weltweit 25 Mitglieder, darunter sehr viele Länder aus Europa, aber auch aus Nord- und Lateinamerika sowie Asien. Um potenziell auch für das österreichische Parlament relevante Studien zu finden, wurde für diesen Monitoringbericht die EPTA-Datenbank² ausgewertet. Die Suche nach Projektberichten und Policy Briefs im Zeitraum 11/2024 bis 04/2025 ergab insgesamt 46 Einträge. Diese Dokumente wurden in der Folge nach den im Abschnitt 1.2 beschriebenen Relevanzkriterien ausgewertet, wobei insbesondere die Österreichrelevanz eine Rolle spielte.

*Auswertung der
EPTA-Datenbank
ergab für den
Berichtszeitraum
insgesamt 46 Studien*

Folgende Themen wurden jüngst international behandelt:³

- *Biowissenschaften*: Gene drives; Synthetische Biologie; Neurotechnologie
- *Demokratie/Inneres*: Zivilschutz; Soziale Medien, Meinungsfreiheit und nationale Sicherheit
- *Energie*: Nuklearabfälle; Fusionsreaktoren; Energiesicherheit und KI
- *Ernährung*: Künstliches Fleisch; Innovationen in der Lebensmitteltechnologie
- *Gesundheit/Medizin*: Gesundheit in Schulen; Psychedelisch unterstützte Therapie für die psychische Gesundheit; Wasserfluoridierung und Zahngesundheit; Rehabilitation nach Krankenstand aufgrund stressbedingter Störungen; Plastik und Gesundheit; Wearables und Vermeidung von Krankheiten; KI und geistige Gesundheit; Biodruck in der Medizin; Geschwindigkeitsbeschränkungen und Gesundheit
- *Informationstechnologien*: 6G-Mobilfunk; Wearables und Vermeidung von Krankheiten; Dynamische Digitale Zwillinge, Quantencomputer; Langzeitarchivierung von Daten; (siehe auch KI)
- *Künstliche Intelligenz*: Energiesicherheit und KI; KI und geistige Gesundheit; KI und Gesellschaft; Nach ChatGPT; Large Action Models; KI-Hardware in Europa
- *Umwelt/Klima*: Urbanes Heizen und Kühlen; Naturgemäßer Waldumbau in Zeiten des Klimawandels; Ozean-Politik; Strategien zur Erreichung von Netto-Null-CO₂-Ausstoß; Weltraumschrott und Satelliten
- *Verkehr*: Geschwindigkeitsbeschränkungen und Gesundheit; Flugtaxis
- *Wirtschaft*: Hybrides Arbeiten; KI-Hardware in Europa; Biodruck in der Medizin; Saubere Technologien für kritische Rohstoffe
- *Wissenschaft allgemein*: Monitor wissenschaftliche Freiheit (EU); Monitor praxisorientierter Forschung (Niederlande)

*Jüngst behandelte
Themen im Überblick*

¹ eptanetwork.org.

² eptanetwork.org/database/policy-briefs-reports.

³ Teils Mehrfachzuordnungen.

Zur näheren Betrachtung durch das österreichische Parlament werden aufgrund der Relevanz für Österreich, der Aktualität und weil es dazu für Österreich noch keine spezifischen Studien gibt, folgende internationalen Studien vorgeschlagen:⁴

Thema	Titel der Studie	Land; Institution	Jahr
Soziale Medien	Social Media, Freedom of Expression, and National Security [Soziale Medien, Meinungsfreiheit und nationale Sicherheit]	Norwegen, NBT	2024-11
Energiesicherheit	Energy security and AI [Energiesicherheit und Künstliche Intelligenz]	Großbritannien, POST	2024-12
Telekommunikation	6G mobile technology [6G-Mobilfunktechnik]	Großbritannien, POST	2024-12
Geistige Gesundheit und KI	AI and Mental Healthcare – (I) ethical and regulatory considerations; (II) opportunities and delivery considerations [KI und psychische Gesundheitspflege – (I) Ethische und rechtliche Überlegungen; (II) Möglichkeiten und Überlegungen zur Leistungserbringung]	Großbritannien, POST	2025-01
Bodruck in der Medizin	Bioprinting für medizinische Anwendungen	Deutschland, TAB	2025-03
Wärme- und Kälteerzeugung	Integrierte kommunale Wärme- und Kälteerzeugung	Deutschland, TAB	2025-03
Weltraummüll	What if orbital debris destroyed satellites? [Was wäre, wenn Weltraumschrott Satelliten zerstörte?]	EU, STOA	2025-03
Kritische Rohstoffe	What if we use clean tech to source critical raw materials within the EU? [Was wäre, wenn wir saubere Technologien verwenden würden, um kritische Rohstoffe innerhalb der EU zu schöpfen?]	EU, STOA	2025-03
Geschwindigkeitsbeschränkungen	20 mph speed limits and zones: public health impacts [30 km/h-Geschwindigkeitsbeschränkungen und -zonen]	Großbritannien, POST	2025-03
Flugtaxis	Flugtaxis – bemannte, vollelektrische Senkrechtstarter	Deutschland, TAB	2025-03

⁴ Es besteht die Möglichkeit, dass das österreichische Parlament (gegebenenfalls die Übersetzung sowie) eine Kurzfassung und Übertragung auf österreichische Verhältnisse der genannten Studien von EPTA-Einrichtungen beauftragt.

ÖAW

WWW.OEAW.AC.AT