



Parlamentsdirektion
Bildagentur Zolles KG/
Martin Steiger

BERICHT

WIEN, NOVEMBER/2023

ITA-2023-03

WWW.OEAW.AC.AT/ITA

FORESIGHT UND TECHNIKFOLGENABSCHÄTZUNG: MONITORING VON ZUKUNFTSTHEMEN FÜR DAS ÖSTERREICHISCHE PARLAMENT

NOVEMBER 2023

FORESIGHT UND TECHNIKFOLGENABSCHÄTZUNG: MONITORING VON ZUKUNFTSTHEMEN FÜR DAS ÖSTERREICHISCHE PARLAMENT

NOVEMBER 2023

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 *Manuel Baumann [MB] (ITAS)*
Niklas Gudowsky-Blatakes [NG] (ITA)
Christoph Kehl [CK] (ITAS)
Harald König [HK] (ITAS)
Jaro Krieger-Lamina [JKL] (ITA)
Michael Nentwich [MN] (ITA)
Walter Peissl [WP] (ITA)
Pauline Rioussel [PR] (ITAS)
Marcel Weil [MW] (ITAS)

Bericht im Auftrag des österreichischen Parlaments
Wien, November/2023

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

Bericht Nr.: ITA-2023-03 (Wien, November/2023)

ISSN: 1819-1320

ISSN-online: 1818-6556

epub.oeaw.ac.at/ita/ita-projektberichte/ITA-2023-03.pdf

parlament.gv.at/fachinfos/rlw/zukunftsthemen

© 2023 ÖAW-ITA – Alle Rechte vorbehalten

INHALT

	ZUSAMMENFASSUNG	7
1	EINLEITUNG	10
1.1	VORGANGSWEISE	11
1.2	RELEVANZKRITERIEN	12
1.3	BASISQUELLEN FÜR DIESE BERICHTSVERSION	13
2	AKTUELLE SOZIO-TECHNISCHE ENTWICKLUNGEN	16
	HIRNORGANOIDE	17
	BATTERIESYSTEME DER ZUKUNFT	23
	PROTEINWENDE – ALTERNATIVE EIWEISSQUELLEN BREITENWIRKSAM NUTZEN	29
	WALD: BRÄNDE UND WIEDERHERSTELLUNG	35
	GESUNDHEITLICHE FOLGEN DER DIGITALISIERUNG	41
	KOLLABORATIVE INDUSTRIEROBOTER	47
3	AKTUELLE EPTA-STUDIEN	52

ZUSAMMENFASSUNG

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

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 Schmerzwahrnehmung 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

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 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.

Superbatterien

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

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 Brandrisikos 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.

Waldbrände

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.

Gesundheit & Digitalisierung

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

Darüber hinaus ergab die Analyse der Berichte, die von Mitgliedsinstitutionen des Netzwerks der Europäischen Parlamentarischen Technikfolgenabschätzungseinrichtungen (EPTA) seit Mai 2023 fertiggestellt wurden, dass folgende Themen für das österreichische Parlament besonders interessant erscheinen:

- People Analytics – Technologien zur Auswertung von Beschäftigtendaten
- Digitale Spiele in der Bildung
- Reform des Elektrizitätsmarkts
- E-Voting – alternative Wahlformen und ihre Absicherung
- Fahrradwende
- Luftqualität in Innenräumen
- Einführung eines horizontalen europäischen Klima-Labels für Produkte
- Sustainable Cooling – nachhaltige Kühlungsstrategien
- Neue Tabak- und Nikotinprodukte: Rauchverbot aufheben

Aktuelle Studien anderer parlamentarischer TA-Einrichtungen

- Energieplanung auf lokaler Ebene: Erreichen von Netto-Null
- Technologien für Online-Werbung und Wettbewerb
- Biosicherheit von Pflanzen in Großbritannien
- Plastik-Recycling

Zu all diesen Themen liegen aktuelle Endberichte von TA-Einrichtungen aus Deutschland, Frankreich, Großbritannien und der Europäischen Union 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 potentiellen 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.
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 öffentlich Debatten dazu.
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.

Quellenauswertung

Themenselektion

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:

1. *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.
2. *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.
3. *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.

Inhaltliche Relevanz

Österreichbezug

Parlamentsbezug

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.
- D. *TA- und Foresight-Datenbanken*, insbesondere: Projekt- und Publikationsdatenbank des EPTA-Netzwerks; Publikationsdatenbank des NTA openTA; ORBIS, die Open Repository Base on International Strategic Studies; Knowledge4policy-Plattform des EU-Kompetenzzentrums für Foresight; Statista, ESPAS (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); Beobachtung der EU-Ausschreibungen Horizon Europe.
- 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:

Methoden

G. KI-gestützte quantitative Auswertung großer Textdatenmengen: In Ergänzung der qualitativen Quellenauswertung wird die Software RS-Lynx¹ verwendet, die auf Grundlage großer Mengen an webbasierten Informationsquellen mit Hilfe von Künstlicher Intelligenz Trends aufspüren kann. Weiters wird die Text-mining-Plattform TIM Open Access² der EU-Kommission eingesetzt.

Als spezifische Basisquellen für diese Berichtsversion dienten folgende Sekundärquellen:

Für diesen Bericht
spezifisch
ausgewertete Quellen

- World Economic Forum Top 10 Emerging Technologies of 2023³
- WHO – 2023 Emerging technologies and scientific innovations⁴
- Joint Research Centers der EU Newsletter⁵
- CENELEC Standardization Opportunities from Horizon Scanning, Q3&Q4/22⁶
- acatech – Technikradar 2023⁷
- GOV.UK foresight⁸
- KISTI – weal signals 2022-2023⁹
- PWC-Horizon scanning¹⁰
- Policy Horizons Canada¹¹
- Sowie folgende spezifische Artikel:
 - A Horizon Scan to Support Chemical Pollution-Related Policymaking for Sustainable and Climate-Resilient Economies¹²
 - A Social Sciences and Humanities research agenda for transport and mobility in Europe: key themes and 100 research questions¹³
 - Emerging healthcare interventions: Patient-Centered Outcomes Research Institute's programmatic initiative¹⁴

¹ radiosphere.de/medienmonitoring-plattform-rs-lynx/; Inhalte: Social Media, Presse (print/online), TV/Radio, Podcasts, PDFs (konfigurierbar).

² knowledge4policy.ec.europa.eu/text-mining/tim_oa_en; Inhalte: OA Publikationen/ Semantic Scholar, weltweite Patentanträge/Patstat, FP5 bis Horizon Projekte (Cordis).

³ www3.weforum.org/docs/WEF_Top_10_Emerging_Technologies_of_2023.pdf.

⁴ apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/370365/9789240073876-eng.pdf?sequence=1.

⁵ ec.europa.eu/newsroom/eusciencehubnews/newsletter-archives/view/service/169.

⁶ cencenelec.eu.

⁷ acatech.de/publikation/technikradar-2023/.

⁸ gov.uk/government/publications/wireless-2030.

⁹ [newswise.com/pdf_docs/167757135761191_\(Attachment2\)%20KISTI%20Data%20Insight%202024.pdf](https://newswise.com/pdf_docs/167757135761191_(Attachment2)%20KISTI%20Data%20Insight%202024.pdf).

¹⁰ pwc.co.uk.

¹¹ horizons.gc.ca/en/2023/02/22/exploring-change-in-social-connection/.

¹² setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/etc.5620.

¹³ tandfonline.com/doi/full/10.1080/01441647.2023.2167887.

¹⁴ cambridge.org/core/journals/international-journal-of-technology-assessment-in-health-care/article/emerging-healthcare-interventions-patientcentered-outcomes-research-institutes-programmatic-initiative/F53E6CB249129967752117FD50BC49EC.

- AI-Assisted Identification of Policy-Salient Research Priorities and Emerging Issues¹⁵
- Zukunftstrends und Einsatzmöglichkeiten digitaler Technologien in der settingbezogenen Prävention und Gesundheitsförderung – eine Delphi-Befragung¹⁶
- Recent Trends, Developments, and Emerging Technologies towards Sustainable Intelligent Machining: A Critical Review, Perspectives and Future Directions¹⁷

¹⁵ papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4502450.

¹⁶ link.springer.com/article/10.1007/s00103-023-03669-5.

¹⁷ mdpi.com/2071-1050/15/10/8298.

2 AKTUELLE SOZIO-TECHNISCHE ENTWICKLUNGEN

Die folgenden sechs sozio-technischen Entwicklungen wurden im Berichtszeitraum Mai 2023 bis November 2023 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
Mai 2023
bis November 2023*

Themen November 2023

6 neue Themen

Hirnorganoide

Batteriesysteme der Zukunft

Proteinwende – Alternative Eiweißquellen breitenwirksam nutzen

Wald: Brände und Wiederherstellung

Gesundheitliche Folgen der Digitalisierung

Kollaborative Industrieroboter

HIRNORGANOIDE



© 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 Schmerzwahrnehmung 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 (Kelley & Pasca, 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 kürzlichen 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
in vitro oder
transplantiert in Tiere*

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 Hirnorganoiden 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 Organoiden bisher nicht über Stadien hinaus, die sich typischerweise in Gehirnen Neugeborener finden, was ihren Nutzen für die Analyse von Vorgängen des reifen menschlichen Gehirns einschränkt (Kelley & Pasca, 2022; NAS, 2021, S. 28 ff.).

*Limitationen und
wichtige Unterschiede
zum Gehirn*

Dennoch ermöglichen Hirnorganoide bereits heute wichtige Erkenntnisse und Anwendungen (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 Autismus-Spektrum-

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

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 (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 (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.

Ethische und moralische Fragen

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 höhere Stufen von Bewusstsein bzw. Empfindungsfähigkeit ausbilden könnten – bis hin zu Ausprägungen, die nur bei Menschen existieren könnten. Höhere Bewusstseinsstufen 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, 2023), 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 organisierten Gehirnbereichen (wie dem präfrontalen Cortex²) sowie mehreren Gehirnregionen und Verbindungen zwischen ihnen abhängen (Edlow et al., 2021; NAS, 2021,

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.

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

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. 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 (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 & Pasca, 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 für Hirnorganoide gelten sollten, falls diese Formen von Bewusstsein oder Schmerzwahrnehmung entwickeln würden. Und zweitens, wie der Schutz des Tierwohls in Zusammenhang mit der Transplantation solcher Organoide gewährleistet wird bzw. werden kann. 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

*Transplantation von
Hirnorganoiden – Tiere
mit menschlichen
Eigenschaften?*

*Mögliche rechtliche
und regulatorische
Fragen*

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 ausgeführter) „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 Organoiden dürften 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. 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.

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.

³ Dazu gehören Pionierarbeiten (Lancaster et al. 2013) sowie aktuelle Forschung (z. B. Eichmüller et al., 2022; Krenn et al., 2021).

⁴ Z. B. aheadbio.com; norganoid.com.

ZITIERTE LITERATUR

- 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.
- Eichmüller, O. L., et al. (2022). Amplification of human interneuron progenitors promotes brain tumors and neurological defects. *Science (New York, N.Y.)*, 375(6579), eabf5546. doi.org/10.1126/science.abf5546.
- ISSCR (2021). *ISSCR Guidelines für Stammzellforschung und klinische Translation*. Version 1.1, Mai 2021; dtsch. Übersetzung, Januar 2022. static1.squarespace.com/static/611faaa8fee682525ee16489/t/62ed6a174729ce4782a9a4f0/1659726359925/isscr_germanguidelinesgerman_final.pdf.
- Kelley, K. W., & Pasca, 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.
- Krenn, V., et al. (2021). Organoid modeling of Zika and herpes simplex virus 1 infections reveals virus-specific responses leading to microcephaly. *Cell Stem Cell*, 28(8), 1362–1379.e7. doi.org/10.1016/j.stem.2021.03.004.
- 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. (2023). Consciousness theory slammed as ‘pseudoscience’ – sparking uproar. *Nature*. Advance online publication. doi.org/10.1038/d41586-023-02971-1.
- Leopoldina (2022). *Hirnorganoide: Modellsysteme des menschlichen Gehirns: Stellungnahme*. Stellungnahme, Oktober 2022. 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



© 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
(Umwelt, Lieferketten,
kritische Ressourcen)
mit sich*

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 3.100 GWh (bis zu 4.100 GWh) bis 2030 ausgegangen. Davon entfallen über 90 % alleine auf den Mobilitätssektor, ca. 6 % auf stationäre Energiespeichersysteme und ca. 3 % auf elektronische Geräte (Roland Berger, 2022).¹ Die wachsende Bedeutung von Batterien in unterschiedlichen Anwendungsgebieten wird diesen Markt strategisch wichtig für neue Geschäftsmodelle, Technologien, Rohmaterialien und Recycling auf globaler Ebene machen. Derzeit haben chinesische (CATL 34 %, BYD 12 %), japanische (Panasonic 10 %) und südkoreanische (LG 14 %, Samsung 5 %) Unternehmen die größten Anteile in der Batterieherstellung (2022 mit 82 %), wobei in China knapp 75 % der globalen Produktion verortet sind (Statista, 2022).² In Europa gibt es eine Vielzahl an Initiativen für den Aufbau von Lithium-Ionen-Produktionskapazitäten im Umfang von insgesamt 1939 GWh³, welche sich größtenteils auf Deutschland, Schweden, Norwegen, Ungarn und Polen aufteilen.⁴

*Batteriespeicher
als Kernelement
für die Energie- und
Verkehrswende*

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 und Naturgraphit übersteigen (Weil et al., 2018). 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 Abbaugelände in Europa zu erschließen bzw. alte Minen zu reaktivieren (im Fall von Lithium z. B. in Österreich⁵, Deutschland⁶,

¹ content.rolandberger.com/hubfs/07_presse/Roland%20Berger_The%20Lithium-Ion%20Battery%20Market%20and%20Supply%20Chain_2022_final.pdf.

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

³ battery-news.de/2023/02/03/16260/.

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

⁵ derstandard.de/story/2000144141038/lithium-aus-dem-lavanttal-australier-wittern-in-kaernten-das-grosse; futurezone.at/b2b/lithium-kaernten-erzabbau-koraln-2025-wolfsberg-huerde-beginn-wann-rohstoff-european-lithium/402540629.

⁶ ingenieur.de/technik/fachbereiche/energie/lithium-ueberraschender-fund-im-deutschen-bergwerk/.

Tschechien⁷ oder Portugal⁸), oder auch die Rohstoffe mittels alternativer Verfahren zu gewinnen (z. B. Lithium durch Geothermieranlagen⁹). 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 deshalb die Entwicklung neuer Batteriesysteme, die auf gut verfügbaren Rohstoffen wie Natrium, Magnesium, Calcium, Zink oder Kalium basieren.¹⁰

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 Energiedichte als auch der Lebensdauer gemacht bei einer gleichzeitigen starken Reduktion der Speicherkosten (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. 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 Ionenwechsel innerhalb der Batterie vergeben wird. Unter den derzeitigen Entwicklungen gelten Natrium-Ionen-Batterien (NIB) als die am weitesten fortgeschrittene 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 (Peters et al., 2022). Ihre Vorteile sind die Verwendung billigerer und häufiger vorkommender Materialien (Aluminium anstelle von Kupfer als Stromkollektor, Natrium anstelle von Lithium im aktiven Kathodenmaterial und im Elektrolytsalz) (Baumann et al., 2022). Die Verwendung von unkritischen Materialien führt jedoch nicht automatisch zu einer nachhaltigeren Technologie, weshalb eine gründliche Bewertung der potenziellen Umweltauswirkungen und Ressourcenfragen notwendig ist (Peters et al., 2022). 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)

*Post-Lithium-
Batterien als
Game-Changer?*

⁷ dw.com/de/gr%C3%B6%C3%9Ftes-vorkommen-in-europa-tschechien-im-lithium-rausch/a-66808176.

⁸ de.euronews.com/2023/06/09/lithiumvorkommen-in-portugal-streit-zwischen-wirtschaft-und-wissenschaft.

⁹ kit.edu/kit/pi_2023_028_energiespeichermaterialien-aus-heissem-tiefenwasser-lasst-sich-lithium-gewinnen.php.

¹⁰ postlithiumstorage.org/en/polis.

ist zwar in der EU (Deutschland, Österreich mit Varta Forschungshub) stark.¹¹ Allerdings bleibt es aktuell bei kleinskaligen Pilot- oder Kommerzialisierungsprojekten, die gegenüber den kommerziellen Lösungen aus China, wo NIB schon im automobilen Sektor getestet werden, nicht mithalten können.

Das Recycling spielt für die Verfügbarkeit relevanter Materialien eine wichtige Rolle und wird bei Auftreten größerer Altbatteriekapazitäten ab 2030 stärker wachsen.¹² 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 werden durch Pyrolyse entfernt). Abschließend erfolgt eine Trennung der Schwarzmasse (bestehend aus Co, Ni, Mn), wodurch rund 30 % der Materialien wiedergewonnen werden können. Eine weitere Recyclingform ist das pyrometallurgische Recycling. Bei diesem Hochtemperaturprozess (300-1.400 °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, Bauermann, et al., 2020). Des Weiteren muss geprüft werden, ob es für diese Recyclingprozesse auch einen entsprechenden Business Case gibt (Wert der recycelten Materialien).

*Löst Recycling
alle Probleme?*

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.¹³ Hinzu kommt ein verstärkter Ausbau von Photovoltaik-Speichersystemen, welcher von 2021 bis 2023 von 131 MWh auf 229,7 MWh angestiegen ist. *Großtechnische Batteriespeicher* werden primär von Forschungs- und Demonstrationsprojekten getragen. Es gibt jedoch zunehmend

*Wirtschaftliche
Potenziale für
Österreich*

¹¹ [pressetext.com/news/varta-forschungshub-wird-2022-in-graz-realisiert.html](https://www.pressetext.com/news/varta-forschungshub-wird-2022-in-graz-realisiert.html).

¹² mckinsey.com/de/news/presse/2023-01-16-batterien.

¹³ austriatech.at/de/zahlen-daten-fakten-archiv/.

kommerzielle Batteriespeicherprojekte (Blue Battery mit 14,2 MWh) (Biermayr et al., 2023). Hinzu kommen gemäß der EU-Batterieverordnung erhöhte Anforderungen zur Verbesserung der Umweltverträglichkeit von Batterien während ihres gesamten Lebenszyklus. 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 BMK im Rahmen von IPCEI (Important Project of Common European Interest) als Großprojekt zur Förderung der Batterieindustrie sechs technologisch führende Industriebetriebe ausgewählt (z. B. VARTA Forschungshub in Graz). Hinzu kommen gut ausgebildete Fachkräfte entlang der gesamten Wertschöpfungskette.¹⁴ Durch das erhöhte globale Momentum im Batteriemarkt und der EU ergeben sich hier im europäischen Kontext wirtschaftliche Potenziale für Österreich, welche durch ein adäquates Managen der Wertschöpfungskette unterstützt und nutzbar gemacht werden können. Des Weiteren ist die Abstimmung auf europäischer Ebene wichtig, um in Europa 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. Hier ist insbesondere die Rohstoffverfügbarkeit entlang der Wertschöpfungskette zu nennen. In der jüngeren Vergangenheit haben steigende Energie- und Rohstoffpreise zu einer Trendwende bei der Kostenentwicklung aktueller Batteriesysteme geführt.¹⁵

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 sich für Österreich eignen. Im Rahmen dieser Analyse ist die gesamte Wertschöpfungskette – von der Material-, Produktions- als auch Recyclingebene – zu berücksichtigen. Ein Mapping potentieller Risiken für die Versorgung Österreichs mit notwendigen Energiespeichertechnologien für stationäre und mobile Anwendungen erscheint notwendig. Dies muss auch potenzielle Umweltauswirkungen, soziale Aspekte und Ressourcenfragen von Energiespeichern umfassen, um eine ganzheitliche Perspektive zu ermöglichen.

Was ist für eine nachhaltige Batterie-Wertschöpfungskette notwendig?

¹⁴ infothek.bmk.gv.at/klimatechnologien-europaeische-batterie-initiative-mit-entscheidender-oesterreichischer-beteiligung/.

¹⁵ about.bnef.com/blog/lithium-ion-battery-pack-prices-rise-for-first-time-to-an-average-of-151-kwh/.

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.
- Biermayr, P., et al. (2023). Innovative Energietechnologien in Österreich: Marktentwicklung 2022 (Schriftenreihe 36/2023). BMK. nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/publikationen/markterhebungen.php.
- 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.
- 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.
- Peters, J., Baumann, M., Weil, M., & Passerini, S. (2022). On the Environmental Competitiveness of Sodium-Ion Batteries – Current State of the Art in Life Cycle Assessment. In M. Titirici, P. Adelhelm, & Y. Hu (Eds.), *Sodium-Ion Batteries* (1st ed., pp. 551–571). Wiley. doi.org/10.1002/9783527825769.ch17.
- 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.
- Weil, M., Ziemann, S., & Peters, J. (2018). The Issue of Metal Resources in Li-Ion Batteries for Electric Vehicles. In G. Pistoia & B. Liaw (Eds.), *Behaviour of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles* (pp. 59–74). Springer International Publishing. doi.org/10.1007/978-3-319-69950-9_3.
- 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 EIWEISSQUELLEN BREITENWIRKSAM NUTZEN



© 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 Proteindurchschnittskonsum 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.

*Weltweiter
Proteinhunger,
bei gleichzeitiger
Überversorgung in
Europa*

*Fleischkonsum:
bei Männern dreimal
mehr als empfohlen*

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).

*70 Prozente der
landwirtschaftlichen
Emissionen aus
Tierhaltung*

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 Rohstoffe (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 Eiweißimporten, 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 unabhängige Versorgung mit Futtermitteln, die insbesondere für die Fleisch- und Milchproduktion von Nöten sind.

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

¹ oerge.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/EPRS_BRI\(2023\)751426_EN.pdf](https://europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/751426/EPRS_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 -verschwendung 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 resilienten, 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

*Notwendiger
Klimaschutz durch
ausgewogene
Ernährung*

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 (Takefuji, 2021). Hier könnten eine vermehrte Produktion von pflanzlichen und alternativen Proteinen helfen, die vorherrschende Massentierhaltung zurückzudrängen, und langfristig sogar überflüssig zu machen.

*Missstände
bei Tierwohl*

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 (Takefuji, 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 (Takefuji, 2021).

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

Fermentation

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 das Feld der 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.

*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 gerin-

*Geringer Flächenbedarf
aber derzeit hoher
Energiebedarf*

⁶ [thelancet.com/commissions/EAT](https://the-lancet.com/commissions/EAT).

ger 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.

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 Kreislaussystemen 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 übersektoralen 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](https://europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2022/729539/EPRS_ATA(2022)729539_EN.pdf).

⁸ gfi.europa.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
- EPRS. (2023). *EU protein strategy*. Retrieved from [europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/751426/EPRS_BRI\(2023\)751426_EN.pdf](https://europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/751426/EPRS_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.
- 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



© 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 Brandrisikos 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 2022 wurden über 200 Waldbrände registriert, von denen 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 einzig relevante natürliche Waldbrandursache in Österreich, die etwa 15 % der Fälle ausmacht. Nur bei wenigen Fällen ist die Brandursache unbekannt.

*Österreichweit
85 % der Waldbrände
direkt oder indirekt
menschengemacht*

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

*Brandgefahr:
Zustand des Waldes,
Wetter und
Topographie
maßgeblich*

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 ineinander greifende Natur- und Siedlungsräume spielen hier eine Rolle (M. M. Müller et al., 2020).

*Klimawandel:
Waldbrände nehmen
auch in den Alpen zu*

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 er-

*Vergleich mit
Südeuropa oder
Nordamerika nur
bedingt möglich*

¹ fire.boku.ac.at/firedb/de/.

² boku.ac.at/wabo/waldbau/forschung/themen/bewirtschaftungskonzepte/waldbewirtschaftung-und-klimaaenderung/waldbrand.

³ zamg.ac.at/cms/de/wetter/wetter-oesterreich/waldbrand.

geschlossen, was eine Brandbekämpfung erheblich erleichtert. Brände treffen zudem relativ schnell auf Barrieren, die eine weitere Ausbreitung verhindern.

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 verminderte 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.

Hohe Schäden und Kosten – kurz- und langfristig

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.

Grenzbereiche von Wäldern und urbanem Raum gewinnen an Brisanz

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 Löschdrohnen) 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).

F&E neuer Waldbrandbekämpfungstechnologien

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

Die KI-gestützte Auswertung komplexer Umweltdaten aus satelliten- oder droh-nengestützter 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 weitreichende 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 ineinandergreifen, 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).

*Vorbeugung
durch verbesserte
KI-Vorhersage*

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).

*Prävention
durch geändertes
Waldmanagement*

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).

*Hoher Wissensbedarf
für Restoration*

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 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.

*Natürlicher
Nachwuchs und
mehr Laubbäume
als Pioniere*

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

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 *Dürresilienz*); 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 beispielsweise von privaten Waldbesitzer:innen oder Naturschutzorganisationen abzuholen.

*Abschätzung neuer
Brandbekämpfungs-
technologien,
Wiederaufforstungs-
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.
- 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.
- 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



© 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 Deutschland und Österreich ist zuletzt die Diskussion um Verbote von Mobiltelefonen in Schulen neu aufgeflammt. Forderungen nach einem generellen (und nicht nur schulautonomen) Verbot stehen Zweifel an dessen Sinnhaftigkeit¹ und Durchsetzbarkeit gegenüber. 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.²

Was bedeutet die Digitalisierung für Schulen und Schüler:innen?

Smartphones bedeuten für Jugendliche etwas anderes als für Ältere:³ 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.⁴ 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.⁵

Warum sind Smartphones für Jugendliche wichtig?

Nomophobia⁶ 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 Netzabdeckung auftreten, so-

Was ist Nomophobia?

¹ [edu.de/lp/smartphones-in-schulen](https://www.edu.de/lp/smartphones-in-schulen).

² Digital Economy and Society Index (DESI) der Europäischen Kommission, Länderprofil Österreich 2022: digital-strategy.ec.europa.eu/de/policies/desi-austria.
³ www.elternguide.online/jugendliche-und-ihr-smartphone/.

⁴ Wagner beschreibt das in „Die Generation Digital“ (S. 22) als „Geheimen Garten“.

⁵ Zu den Folgen der Medienexposition in der frühen Kindheit siehe GAIMH 2022.

⁶ Zu den Ursachen siehe Vagka 2023; verwandt: FOMO – fear of missing out.

dass die Nutzer:innen also nicht mehr online und erreichbar sein können.⁷ 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-5⁸ noch nicht aufgenommen, basierend auf Spezifikationen aus DSM-4 jedoch als „specific phobia“ vorgeschlagen (Bragazzi 2014) und als Syndrom, beschrieben⁹, dem häufig andere psychische Krankheitsbilder zugrunde liegen. Im ICD-11¹⁰ 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.

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.¹¹ 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 Entlastung durch Kontakt zu Freunden und Familie via Smartphone gesucht wird, wodurch erst die negativen Folgen der hohen Bildschirmzeit ausgelöst werden.¹² 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.

*Die gesundheitlichen
Folgen eines
problematischen
Nutzungsverhaltens*

⁷ theguardian.com/technology/2023/sep/11/lost-your-phone-and-feel-your-lives-falling-apart-youve-got-nomophobia.

⁸ Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (Hg.: APA – American Psychiatric Association).

⁹ en.wikipedia.org/wiki/Nomophobia.

¹⁰ International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems (Hg.: WHO – World Health Organisation).

¹¹ PostNote 653 (2020): Screen use and health in young people, researchbriefings.files.parliament.uk/documents/POST-PN-0635/POST-PN-0635.pdf.

¹² Vergleiche hier auch Schmutzers (1994, Kap. 8) Beschreibung von Technik als Sozialersatz.

Das alles ist auch vor dem Hintergrund der Pandemie zu sehen, während der Jugendliche auch auf Grund dieser Umstände schon stark belastet waren. Lock-downs, Abstandhalten, 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

RELEVANZ DES THEMAS FÜR DAS PARLAMENT UND FÜR ÖSTERREICH

In Österreich ist das zuständige Bildungsministerium gegen ein generelles Smartphone-Verbot an Schulen, da die Digitalisierung eher als Chance gesehen werde, und hat die Entscheidung damit weiter bei den einzelnen Schulen belassen.¹³ 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). Die zuletzt verabschiedete Strategie „Digitale Kompetenzen Österreich“¹⁴ soll die erkannten Defizite bei der Medienkompetenz i. w. S. aufholen. Der Fokus liegt hierbei auf einer Sicherung des Wirtschaftsstandortes und damit verbunden der Umsetzung der EU-Empfehlung, dass zumindest 80 % der 16-74-Jährigen über Basiswissen im Bereich der Digitalisierung verfügen sollten. Darüber hinaus bedarf es aber ergänzender Maßnahmen, um eine wünschenswerte Kindheit und Jugend zu ermöglichen.

*Fürsorgepflicht
und Prävention*

¹³ derstandard.at/story/3000000180738/brauchen-die-schulen-ein-allgemeines-handyverbot.

¹⁴ Strategie Digitale Kompetenzen Österreich (2023): digitalaustria.gv.at/dam/jcr:e84a42c3-f2e7-4642-9ca0-76d7e8c61216/230615-Strategie-Digitale-Kompetenzen-Oesterreich.pdf.

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. Eine Evaluierung und nötigenfalls Nachbesserung des vom Digitalisierungsstaatssekretariats angestoßenen Maßnahmenpakets „Bildungsoffensive“ erscheint sinnvoll; ebenso eine begleitende Diskussion über Visionen für die Zukunft im Bereich von Digitalisierung und Gesundheit.

*Wissenslücken
schließen und
Kompetenzen
verbessern*

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](https://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.
- 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.
- Schmutzer, M.E.A. (1994): *Ingenium 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



© 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).

*Cobots –
Kollaborative Roboter:
ein Hoffungsmarkt*

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

*Mensch und Maschine
sollen
zusammenarbeiten*

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 auch 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, Palettie-

*Nicht ganz so schnell,
dafür KMU geeignet*

¹ de.wikipedia.org/wiki/Kollaborativer_Roboter.

rung, Messtechnik, Fertigstellung, Qualitätskontrolle, Schweißen, Materialabtrag und Schrauben.²

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, Produktionssystem) 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 Zahradnik and 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. So soll sich der Einsatz von Cobots bzw. mobilen Robotern bis 2025 mehr als verdoppeln. Der erstmalige Einsatz insbesondere von Cobots ist dabei auch häufig bei Betrieben geplant, die bisher keine Erfahrung mit Industrierobotern aufweisen können.

*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.

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).
- 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.
- Zahradnik, 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 europäische Länder, aber auch aus den USA, Lateinamerika und 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 05/2023 bis 10/2023 ergab insgesamt 33 Einträge. Weiters wurden die Policy Briefs des britischen POST im selben Zeitraum ausgewertet (da deren Daten in der EPTA-Datenbank nicht vollständig sind), was zu weiteren sechs potenziell relevanten Dokumenten führte. Diese Dokumente wurden in der Folge nach den im Abschnitt 2.2 beschriebenen Relevanzkriterien ausgewertet, wobei insbesondere die Österreichrelevanz eine Rolle spielte.

Auswertung der EPTA-Datenbank ergab für den Berichtszeitraum insgesamt 39 Studien

Folgende Themen wurden jüngst international behandelt:

- *Informationstechnologien*: Data Mining; Digitale Spiele in der Bildung; Sprachen und Streaming-Plattformen; Analyse von Beschäftigtendaten
- *Demokratie/Inneres*: E-Voting
- *Energie*: Energiespeicherung; Sparsamer Energieverbrauch; Energieerzeugung im Weltall; Fusionsenergie; Nullenergiebezirke; Wärmepumpen
- *Gesundheit*: Neue Tabak- und Nikotinprodukte; Kosten des Rauchens; Seltene Krankheiten und Biosensoren; Ernährungsunsicherheit bei Kindern; Luftqualität in Innenräumen; Gesundheit und Klimawandel
- *Klima und Umwelt*: Plastikrecycling; Plastikverschmutzung; Dekarbonisierung der Fischerei; Klima-Labeling; Nachhaltige Kühlung; Neue Lösungsansätze zur Bewältigung der Klimakrise; Auswirkungen des Klimawandels auf Wirtschaft und Gesellschaft; Zukunft des Fahrradverkehrs; Lebensmittelproduktion und Umwelt; Gesundheit und Klimawandel; Pflanzen-Biosicherheit
- *Wirtschaft*: Kollaborative Industrieroboter; Online-Werbung
- *Militär*: Hyperschallwaffen; Innovative Militärplanung
- *Sonstiges*: Lebensmittel-, Energie- und technologische Sicherheit; Offene, strategische Autonomie zur Bewältigung von Krisen; Auswirkungen des Generationenwechsels

Jüngst behandelte Themen im Überblick

¹ eptanetwork.org.

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

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 internationale Studien vorgeschlagen:³

Thema	Titel der Studie	Land, Institution	Jahr
Beschäftigtendaten	People Analytics – Technologien zur Auswertung von Beschäftigtendaten	Deutschland, TAB	09/2023
Digitale Spiele	Digitale Spiele in der Bildung	Deutschland, TAB	09/2023
Elektrizitätsmarkt	Electricity market reform [Reform des Elektrizitätsmarkts]	Großbritannien, POST	05/2023
E-Voting	E-Voting – alternative Wahlformen und ihre Absicherung	Deutschland, TAB	09/2023
Fahrradverkehr	Fahrradwende	Deutschland, TAB	09/2023
Innenraumlufthqualität	Indoor Air Quality [Luftqualität in Innenräumen]	Großbritannien, POST	09/2023
Klima-Label	Establishing a horizontal European climate label for products [Einführung eines horizontalen europäischen Klima-Labels für Produkte]	Europäische Union, STOA	09/2023
Nachhaltige Kühlung	Sustainable Cooling – nachhaltige Kühlungsstrategien	Deutschland, TAB	05/2023
Nikotinprodukte	Nouveaux produits du tabac ou à base de nicotine: lever l'écran de fumée [Neue Tabak- und Nikotinprodukte: Rauchverbot aufheben]	Frankreich, OPECST	09/2023
Nullenergiebezirke	Local area energy planning: achieving net zero locally [Energieplanung auf lokaler Ebene: Erreichen von Netto-Null auf lokaler Ebene]	Großbritannien, POST	07/2023
Online-Werbung	Online Advertising Technology and Competition [Technologien für Online-Werbung und Wettbewerb]	Großbritannien, POST	10/2023
Pflanzen-Biosicherheit	Plant biosecurity in Great Britain [Biosicherheit von Pflanzen in Großbritannien]	Großbritannien, POST	07/2023
Plastik-Recycling	Le recyclage des plastiques [Plastik-Recycling]	Frankreich, OPECST	06/2023

³ 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.



WWW.OEAW.AC.AT