



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

armasuisse

Szenario-Spiel basierend auf Technologietrends und Megatrends

Von Konstantinos Konstantinidis, Quentin Ladetto, Jan Oliver Schwarz,
Philipp Schweiger und Theresa Schropp

ANTIICIPATECH

Bundesamt für Rüstung
armasuisse
Wissenschaft und Technologie
Feuerwerkerstrasse 39
3602 Thun

Illustrationen und Grafikdesign: Sophie Brakha

ISBN: 978-3-907717-01-1

Kontaktperson: quentin.ladetto@armasuisse.ch

Zweck und Ziele	4
Vorwort	5
Zusammenfassung	6
1 Einführung	7
2 Technologietrends	8
2.1 Data Science und KI	9
2.2 Immersive Technologien	14
2.3 Quantentechnologien	18
2.4 Sensortechnologien	23
2.5 Neue Raumfahrttechnologien	28
2.6 Neue Werkstoffe und digitale Produktion	32
2.7 Erneuerbare Energien und Resilienz	36
2.8 Human-Enhancement-Technologien	41
2.9 Cyber-Technologien	46
2.10 Digitale Kommunikation	51
2.11 Robotik und autonome Systeme	56
3 Megatrends	60
3.1 Zunehmende Ressourcenknappheit	61
3.2 Veränderung der Arbeitswelt	64
3.3 Sicherheitsverständnis im Wandel	67
3.4 Klimawandel und Umweltzerstörung	70
3.5 Fortschreitende Urbanisierung	73
3.6 Diversifizierung von Bildung und Lernen	76
3.7 Zunehmende Ungleichheiten	79
3.8 Wachsender Einfluss von Ost und Süd	82
3.9 Wachsender Konsum	85
3.10 Demographische Ungleichgewichte	88
3.11 Zunehmender Einfluss neuer Regierungssysteme	91
3.12 Zunehmende Bedeutung der Migration	94
3.13 Gesundheit im Wandel	97
3.14 Diversitätsbewusste Gesellschaft	100
4 Wechselwirkungsanalyse	103
5 Szenario-Spiel	105
5.1 Motivation	105
5.2 Grundlagen	106
5.3 Beschreibung und Anleitung für das Spiel	107
6 Schlussfolgerung und nächste Schritte	110
Über diesen Abschnitt	111
Über die teilnehmenden Organisationen	.
Über diese Veröffentlichung	.
Danksagung	.
Über die Autoren	112

Inhalt

Zweck und Ziele



Inspirieren, informieren, instruieren – mit Schlagkraft: Das Technologiefrüherkennungsprogramm von armasuisse Wissenschaft und Technologie hat seit seiner Lancierung im Jahr 2013 zahlreiche Themen und Methoden erforscht und ist dabei diesem Motto treu geblieben.

Angesichts der raschen und chaotischen Veränderungen weltweit, in der die Technologie eine wichtige Rolle spielt, sahen wir die Notwendigkeit, ein Foresight-Ökosystem – also ein Ökosystem für die strategische Vorausschau – zu schaffen, um Debatten und den Austausch zwischen unseren verschiedenen Interessengruppen strukturieren und organisieren zu können.

Das Ökosystem besteht aus Inhalten, die – kaum überraschend – als «Trends» bezeichnet werden, sowie aus verschiedenen Methoden und deren Anwendung. Definitionen und Beschreibungen sind wichtig. Hier jedoch liegt der Schwerpunkt auf der Verbreitung von Informationen und darauf, wie Privatpersonen und Organisationen diese übernehmen und für ihre individuellen Zwecke nutzen können.

Aus diesem Grund decken sich die in diesem Dokument behandelten elf Technologietrends mit denjenigen, die armasuisse intern zur Strukturierung ihrer Forschung verwendet. Von den ursprünglichen zwölf Trends haben wir «Neue Waffen» weggelassen, da dies als zu spezifisch angesehen wurde. Die Beschreibungen der Trends sind zwangsläufig unvollständig, vermitteln aber das notwendige Verständnis, um kreativ mit ihnen arbeiten zu können.

Da sich Technologie nicht im luftleeren Raum entwickelt, haben wir die wichtigsten Spannungen innerhalb der Gesellschaft zu 14 Megatrends zusammengefasst. Diese ermöglichen es uns, verschiedene Anwendungsszenarien zu betrachten und sie unter den gegebenen Umständen zu prüfen und somit einen Kontext dafür zu schaffen, wie verschiedene potenzielle zukünftige Innovationen eine Chance oder eine Bedrohung für eine Branche oder ein Land darstellen könnten.

Aus der Fülle möglicher Workshops und Spiele haben wir in diesem Dokument einige ausgewählt. Diese orientieren sich an der Zeit, die Sie für Aktivitäten der strategischen Vorausschau aufwenden möchten oder können. Es ist nie genug Zeit, um sich mit genügend Material zu befassen, das man nach Belieben anpassen und auf seine Bedürfnisse zuschneiden kann. Wir wollen den Ball ins Rollen bringen und Sie (und uns!) mit genügend Material versorgen, das wir nach Belieben anpassen und auf unsere Bedürfnisse zuschneiden können.

Angesichts dessen mögen Sie sich fragen: «Warum sollte man sich für ein solches Projekt mit dem Bayerischen Foresight-Institut entscheiden?» Ich könnte diese Frage beantworten, aber ich werde es nicht tun, in der Hoffnung, dass die Qualität dieses Dokuments die Kompetenzen, die Energie und den Enthusiasmus widerspiegeln, die wir in unsere Zusammenarbeit mit dem von Prof. Dr. Jan Oliver Schwarz geleiteten Team eingebracht haben.

Viel Freude beim Lesen!

Mit vorausschauenden Grüßen

Dr. Quentin Ladetto
Leiter des Technologiefrüherkennungsprogramms
armasuisse Wissenschaft und Technologie

Vorwort



Obwohl es die strategische Vorausschau als Praxis- und Forschungsbereich schon seit vielen Jahrzehnten gibt, gewinnt sie heute zusehends an Bedeutung. Zahlreiche Krisen, die zunehmende Volatilität und eine wachsende Ungewissheit über die Zukunft haben eines deutlich gemacht: Die Zukunft wird ganz anders aussehen als die Gegenwart, und dies in einer Weise, die man sich heute kaum vorstellen kann.

Unternehmen müssen einerseits flexibel auf ständige Veränderungen reagieren, gleichzeitig aber auch langfristig denken, sei es aufgrund langer Produkt- oder Planungszyklen, sei es, weil Unternehmen auch eine langfristige Perspektive brauchen, also eine Vision, die ihr Handeln lenkt und ihnen ein Ziel vorgibt.

Zu akzeptieren, dass die Zukunft nicht vorhersehbar ist, ist ein erster Schritt zur Entwicklung einer strategischen Vorausschau – aber bei weitem nicht ausreichend. Forschungsarbeit zur Ermittlung von Trends ist für die strategische Vorausschau zwar von grundlegender Bedeutung, an erster Stelle steht jedoch das Denken in Szenarien. Um mögliche Zukünfte zu erkunden, müssen wir von den beobachtbaren Trends ausgehen. Und dies geschieht am besten durch die Entwicklung von Szenarien und alternativen Zukunftsbildern.

Wir vom Bayerischen Foresight-Institut wissen aus unserer Arbeit mit vielen verschiedenen Organisationen, dass fundiert recherchierte Trends nur eine Seite der Medaille sind. Die andere Seite der Medaille besteht darin, die Entscheidungsträger in die Überlegungen zur Zukunft mit einzubeziehen. Nach dem Grundsatz «Verstehen statt konsumieren» sind wir der Meinung, dass die aktive Auseinandersetzung mit Trends und Szenarien den Entscheidungsträgern helfen wird, vorausschauendes Denken zu entwickeln.

In diesem gemeinsamen Projekt mit armasuisse Wissenschaft und Technologie wollen wir diese Gedanken aufgreifen. Wir stellen nicht nur eine Auswahl relevanter Technologie- und Megatrends vor, sondern bieten mit dem «Szenario-Spiel» auch ein Format, das es uns ermöglicht, mit diesen Trends zu arbeiten und die Zukunft zu erforschen, um abschliessend eine strategische Vorausschau zu entwickeln.

Wir hoffen, dass Sie unsere Arbeit nicht nur aufschlussreich, sondern auch unterhaltsam finden!

Mit vorausschauenden Grüßen

Prof. Dr. Jan Oliver Schwarz
Institutsleiter
Bayerisches Foresight-Institut,
Technische Hochschule Ingolstadt

Zusammen- fassung



In diesem Projekt werden die folgenden neuen Schlüsseltechnologien und ihre Auswirkungen auf die Zukunft untersucht:

1. Data Science und KI
2. Immersive Technologien
3. Quantentechnologien
4. Sensortechnologien
5. Neue Raumfahrttechnologien
6. Neue Werkstoffe und digitale Produktion
7. Erneuerbare Energien und Resilienz
8. Human-Enhancement-Technologien
9. Cyber-Technologien
10. Digitale Kommunikation
11. Robotik und autonome Systeme

Die Ziele des Projekts sind folgende:

1. Ausweitung der Forschung zu neuen Technologien.
2. Beurteilung, wie diese neuen Technologien mit den weiteren Megatrends in der Zukunft verknüpft sein werden.
3. Schaffung eines ansprechenden Workshop-Formats für Führungskräfte des Eidgenössischen Departements für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport.

In diesem Bericht werden die Ergebnisse dieses Projekts dargestellt. Er ist in drei Teile untergliedert.

Im ersten Teil wird jeder der oben genannten Technologietrends definiert und beschrieben.

Die angenommenen Auswirkungen jedes Trends werden dargestellt, und die mit einem bestimmten Technologietrend verbundenen Unsicherheiten und Herausforderungen werden erörtert. Des Weiteren werden einige schwache Signale, sogenannte «Weak Signals», des Trends aufgezeigt.

Im zweiten Teil werden verschiedene wichtige Megatrends definiert und in ähnlicher Weise dargestellt. Diese sind:

1. Zunehmende Ressourcenknappheit
2. Veränderung der Arbeitswelt
3. Sicherheitsverständnis im Wandel
4. Klimawandel und Umweltzerstörung
5. Fortschreitende Urbanisierung
6. Diversifizierung von Bildung und Lernen
7. Zunehmende Ungleichheiten
8. Wachsender Einfluss von Ost und Süd
9. Wachsender Konsum
10. Zunehmende demographische Ungleichgewichte
11. Zunehmender Einfluss neuer Regierungssysteme
12. Zunehmende Bedeutung der Migration
13. Gesundheit im Wandel
14. Diversitätsbewusste Gesellschaft

Der dritte Teil stellt das «Szenario-Spiel» vor, das entwickelt wurde, um die Dynamik der oben genannten Technologietrends in einem kollaborativen Umfeld zu untersuchen.

Das Konzept des «Szenario-Spiels» wird vorgestellt und beschrieben, und es werden Anweisungen für seine Ausführung gegeben. Das Spiel kann als interaktive und schnelle Methode eingesetzt werden, um gemeinsam die Auswirkungen dieser Technologietrends auf eine bestimmte Branche, einen bestimmten Schwerpunkt oder eine bestimmte Organisation zu bewerten.

Die detaillierten Informationen zu den wichtigsten Technologie- und Megatrends sowie das «Szenario-Spiel» können Fachleuten oder Unternehmen als wertvolle Hilfsmittel dienen, um die zukünftigen Auswirkungen dieser Schlüsseltrends schnell und interaktiv zu bewerten.

Einleitung

Unternehmen sind heute mit einem komplexeren und dynamischeren Umfeld konfrontiert als je zuvor, das von Diskontinuität und einer ungewissen Zukunft geprägt ist – eine Situation, die höchstwahrscheinlich andauern wird. Die Hauptaufgabe von Führungskräften besteht heute darin, Entscheidungen zu treffen und dann strategische Managementsysteme in der jeweiligen Umgebung zu formulieren und umzusetzen.

Unternehmen müssen in einem VUCA-Umfeld zurechtkommen, wobei VUCA für volatil, unsicher, komplex und mehrdeutig (Volatile, Uncertain, Complex and Ambiguous) steht. Ein solches VUCA-Umfeld kann beispielsweise erfasst werden, indem auf die Trends und Probleme im Umfeld einer Organisation geachtet wird. Trends im sozio-politischen, sozio-kulturellen, ökologischen, wirtschaftlichen und technologischen Umfeld können die Triebkräfte für künftige Veränderungen sein, die eine entscheidende Rolle bei der Strategieformulierung spielen. Darüber hinaus können neue Trends und Probleme eine Neubewertung der Ressourcen und Kompetenzen eines Unternehmens erforderlich machen. Organisationen müssen infolgedessen eine strategische Vorausschau entwickeln, um wettbewerbsfähig zu bleiben und auch in Zukunft überleben zu können.

Die strategische Vorausschau kann als Identifizierung, Beobachtung und Interpretation von Faktoren definiert werden, die Veränderungen bewirken, mögliche organisationsspezifische Auswirkungen bestimmen und die entsprechenden organisatorischen Reaktionen auslösen. Sie bezieht mehrere Interessengruppen mit ein und schafft sowohl Mehrwert als auch einen Wettbewerbsvorsprung, indem sie Zugang zu kritischen Ressourcen bietet, die Organisationen auf Veränderungen vorbereiten und es ihnen ermöglichen, proaktiv auf eine gewünschte Zukunft zuzusteuern [Rohrbeck et al., 2015]. Zu den typischen Instrumenten der strategischen Vorausschau gehören die Szenarioplanung, Trends und schwache Signale, die Delphi-Methode und das Business Wargaming.

Das übergeordnete Ziel dieser Studie ist die Untersuchung einer Auswahl neuer Schlüsseltechnologien und ihrer zukünftigen Auswirkungen. Folgende Technologietrends werden untersucht:

1. Data Science und KI
2. Immersive Technologien
3. Quantentechnologien
4. Sensortechnologien
5. Neue Raumfahrttechnologien
6. Neue Werkstoffe und digitale Produktion
7. Erneuerbare Energien und Resilienz
8. Human-Enhancement-Technologien

9. Cyber-Technologien
10. Digitale Kommunikation
11. Robotik und autonome Systeme

Die Ziele des Projekts lassen sich wie folgt untergliedern:

1. Ausweitung der Forschung zu neuen Technologien.
2. Beurteilung, wie diese neuen Technologien mit den weiteren Megatrends in der Zukunft verknüpft sein werden.
3. Schaffung eines ansprechenden Workshop-Formats für Führungskräfte des Eidgenössischen Departements für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport.

Die oben genannten Technologietrends existieren nicht isoliert, sondern entwickeln sich in einem breiteren Kontext. Um die Wechselwirkungen zwischen diesen Technologietrends und diesem Kontext zu untersuchen, wurden mehrere wichtige Megatrends aus der Wissensdatenbank der Europäischen Kommission abgeleitet. Megatrends sind langfristige Einflussfaktoren, die bereits jetzt zu beobachten sind und die Zukunft mit hoher Wahrscheinlichkeit massgeblich beeinflussen werden. Die im Rahmen dieses Projekts als besonders relevant angesehenen Megatrends sind:

1. Zunehmende Ressourcenknappheit
2. Veränderung der Arbeitswelt
3. Sicherheitsverständnis im Wandel
4. Klimawandel und Umweltzerstörung
5. Fortschreitende Urbanisierung
6. Diversifizierung von Bildung und Lernen
7. Zunehmende Ungleichheiten
8. Wachsender Einfluss von Ost und Süd
9. Wachsender Konsum
10. Zunehmende demographische Ungleichgewichte
11. Zunehmender Einfluss neuer Regierungssysteme
12. Zunehmende Bedeutung der Migration
13. Gesundheit im Wandel
14. Diversitätsbewusste Gesellschaft

Die Struktur des Projekts und der Arbeitsprozess werden in Abbildung 3 dargestellt. In diesem Projekt haben wir zunächst die zwölf Technologietrends und die vierzehn Megatrends untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden in den Kapiteln 2 und 3 vorgestellt. Die Wechselwirkungen und Abhängigkeiten zwischen den genannten Technologietrends und Megatrends wurden mit Hilfe einer Wechselwirkungsanalyse bewertet. Die Ergebnisse dieser Analyse sind in Kapitel 4 aufgeführt. Anschliessend haben wir einen Szenario-Spiel-Workshop konzipiert. Alle relevanten Konzepte und Materialien für das Szenario-Spiel sowie eine Anleitung zur Durchführung finden Sie in Kapitel 5. Die wichtigsten Ergebnisse, Beobachtungen und Schlussfolgerungen dieser Arbeit werden in Kapitel 6 dargestellt.

REFERENZEN UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

- Schwarz, J. O., «Strategic Foresight - An Introductory Guide to Practice» [Strategische Vorausschau – Ein Leitfaden für die Praxis], Routledge, Buch, 2023, <https://www.routledge.com/Strategic-Foresight-An-Introductory-Guide-to-Practice/Schwarz/p/book/9781032299235>
- Rohrbeck, R. et al., «Corporate Foresight: An Emerging Field with a Rich Tradition.» [Unternehmerische Vorausschau: Ein aufstrebendes Feld mit einer reichen Tradition] *Technological Forecasting & Social Change*, [Technologische Prognosen und sozialer Wandel], 101: 1–9, 2015, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.11.002>



Technologische Trends

In einem ersten Schritt wurde eine Untersuchung der Technologietrends durchgeführt. Ziel war es, das nötige Verständnis für jeden Trend zu vermitteln, um ihn auf inspirierende Weise in das Szenario-Spiel zu integrieren.

Jedes Kapitel ist nach einem bestimmten Schema aufgebaut. Die einzelnen Abschnitte werden hier definiert.

Allgemeine Beschreibung:

Dieser Abschnitt enthält eine Definition des Trends, um Transparenz für weitere Betrachtungen zu gewährleisten. Es werden ein oder mehrere Modelle verwendet, um den Umfang des Trends weiter zu definieren. Abschliessend wird erläutert, wie sich der Trend verändert und was diese Veränderung verursacht.

Auswirkungen und die wichtigsten Unsicherheiten und Herausforderungen:

Zunächst ist die Analyse in drei Ebenen gegliedert: Welche übergeordneten Funktionen erfüllt der Trend, wie könnten diese Funktionen in Zukunft verbessert werden und welche Anwendungen und Anwendungsszenarien könnten durch diese Verbesserungen ermöglicht oder verbessert werden? Diese Analyse wird in Form einer Tabelle dargestellt.

In einer zweiten Untersuchung werden die Auswirkungen nach dem STEEP-Framework erörtert. Dieses Modell ist ein Instrument, mit dem die Auswirkungen sozialer, technologischer, wirtschaftlicher, ökologischer und politischer externer Faktoren auf ein bestimmtes Thema bewertet werden. Diese Untersuchung konzentriert sich auf die wichtigsten Unsicherheiten, die mit diesem Trend verbunden sind. Dies bezieht Überlegungen zu seiner weiteren Entwicklung in verschiedene mögliche Richtungen ein sowie zu den Herausforderungen, welche die weitere Entwicklung des Trends behindern könnten.

Schwache Signale:

Ein schwaches Signal ist der erste Indikator für eine Veränderung oder ein aufkommendes Problem, das in Zukunft von Bedeutung sein könnte. Schwache Signale für jeden Trend wurden aus der von Trendone erstellten und mit der Trendmanager-Software gepflegten Datenbank gesammelt. Das Datum des Zugriffs auf diese Datenbank ist im Eintrag «Referenzen und weiterführende Literatur» des Berichts für jeden Technologietrend angegeben.

Wechselwirkungen zwischen Trends und Megatrends:

Zunächst werden in diesem Abschnitt anfängliche und unvollständige Anzeichen auf Wechselwirkungen mit anderen Technologietrends und Megatrends untersucht. Dieser Abschnitt dient als Grundlage für eine detailliertere Wechselwirkungsanalyse auf der Grundlage der in Kapitel 4 vorgestellten Methode im Rahmen eines Workshops.

In den folgenden Abschnitten werden die Berichte zu den einzelnen Technologietrends vorgestellt.



2 . 1

DATA SCIENCE UND KI

MIT DEM POTENZIAL DER DATEN MENSCHLICHE INTELLIGENZ EMULIEREN UND ERGÄNZEN

BESCHREIBUNG:

Big Data beschreibt Daten, die in Bezug auf Umfang, Geschwindigkeit, Vielfalt, Wahrheitsgehalt und Visualisierung erhebliche Herausforderungen darstellen. Die zunehmende Digitalisierung, die Verbreitung neuer Sensoren, neue Kommunikationsmethoden, das Internet der Dinge (IoT) und die Virtualisierung sozio-kognitiver Räume (z. B. soziale Medien) haben erheblich zur Entwicklung von Big Data beigetragen. **Advanced (Data) Analytics** beschreibt fortschrittliche Analysemethoden, mit denen grosse Mengen solcher Informationen sinnvoll genutzt und visualisiert werden. Diese Techniken nehmen Ansätze aus Forschungsbereichen wie künstliche Intelligenz, Optimierung, Modellierung und Simulation usw. auf. **Künstliche Intelligenz (KI)** bezeichnet die Fähigkeit von Maschinen, Aufgaben auszuführen, für die normalerweise menschliche Intelligenz erforderlich ist, z. B. Muster zu erkennen, aus Erfahrungen zu lernen, Schlussfolgerungen zu ziehen, Vorhersagen zu treffen oder Massnahmen zu ergreifen.

Data Science ist ein Prozess, bei dem Erkenntnisse und Vorhersagen aus Daten generiert werden. **Data Analytics** beschreibt Methoden, die anschliessend verwendet werden, um Ergebnisse wie Erkenntnisse, Klassifizierungen und

Vorhersagen zu extrahieren. Der Bedarf an Data Science ergibt sich aus unserer zunehmend digitalen und virtuellen Welt und der daraus resultierenden Notwendigkeit, die dadurch entstehende Informationsflut sinnvoll zu nutzen.

Die eigentliche Herausforderung für die Analytik besteht darin, grosse und zu schnell produzierte Mengen heterogener Daten mit möglicherweise zweifelhafter Authentizität und Genauigkeit sinnvoll zu interpretieren. Diese Herausforderungen werden auch als die 5 Vs (Volume, Velocity, Variety, Veracity und Visualisation [Umfang, Geschwindigkeit, Vielfalt, Wahrheitsgehalt und Visualisierung]) bezeichnet.

Künstliche Intelligenz hat drei Entwicklungszyklen durchlaufen. In der Anfangsphase lag der Schwerpunkt auf regelbasierten Ansätzen (auf Expertise basierende Entscheidungs bäume, Boolesche und Fuzzy-Logik), z. B. Expertensystemen. Im zweiten Zyklus standen die Entwicklung und Anwendung statistischer Methoden (d. h. überwacht, unüberwacht und verstärkendes Lernen) im Mittelpunkt. Solche Methoden des maschinellen Lernens sind äusserst erfolgreich und kommen in allen Bereichen zum Einsatz, von E-Mail-Spamfiltern bis hin zu Websuchen im Internet. Im dritten Entwicklungszyklus lag der Schwerpunkt auf Bio-inspiriertem Lernen (neuronale Netze¹, Deep Learning) mit beachtlichen Erfolgen in den Bereichen Sensorik und Wahrnehmung.

Die meisten konkreten Definitionen von künstlicher Intelligenz lassen sich einer von vier Kategorien zuordnen. Diese Kategorien sind Ansätze, die unterschiedliche Positionen zu zwei konzeptionellen Dimensionen einnehmen:

- Liegt der Schwerpunkt auf bestimmten «intelligenten» oder «empfindungsfähigen» Denkprozessen (T) [Thinking – Denken] und Schlussfolgerungen oder liegt er auf «zielgerichtetem», «effektivem» Verhalten (B) [Behaviour – Verhalten]?
- Wird der Erfolg an der menschlichen Leistung (H) [Human - Menschlich] oder an einem idealen Konzept von Intelligenz – üblicherweise als «Rationalität» (R) [Reasoning - Schlussfolgern] definiert – gemessen?

Die vier Kategorien von Definitionen künstlicher Intelligenz lassen sich wie folgt klassifizieren:

- (T-H) Systeme, die wie Menschen denken (z. B. Kognitionswissenschaft),
- (T-R) Systeme, die rational denken
- (B-H) Systeme, die wie Menschen handeln
- (B-R) Systeme, die rational handeln

Aus praktischer Sicht liegt der Schwerpunkt eher auf der Art und Weise, wie Systeme mit künstlicher Intelligenz in der Welt agieren können. Diese werden als verhaltensorientierte Ansätze (B) bezeichnet.

Die Funktionen der künstlichen Intelligenz können in zwei übergeordnete Kategorien unterteilt werden:

- **Die Verarbeitung von Eingaben** und die damit verbundenen Aspekte der Wahrnehmung, des maschinellen Sehens, der Verarbeitung natürlicher Sprache und der Übernahme geeigneter Hinweise aus der sozialen Intelligenz sowie
- **Die Planung und Ausführung von Ausgaben** («Verhalten»), was geeignete Prozesse zur Darstellung, Priorisierung und Planung von Wissen umfasst. Dies beinhaltet bei Systemen mit physischen Formen – beispielsweise Robotern – Bewegungen, Kollisionsvermeidung und die Steuerung von Armen oder anderen Teilen.

Maschinelles Lernen (ML) ist das Teilgebiet, das die meisten der jüngsten Fortschritte in der künstlichen Intelligenz hervorgebracht hat. Ziel des maschinellen Lernens ist es, Systeme (d. h. Algorithmen) zu schaffen, die in der Lage sind, automatisch die Beziehung zwischen Eingabedaten und den gewünschten Klassifizierungen oder Aktionen zu erlernen, ohne explizit programmiert zu werden. In diesem Bereich gibt es drei Hauptansätze:

- **Unüberwachtes Lernen** bezieht sich auf Lernlösungen (bekannt als Modelle), welche nicht durch Daten überwacht (oder beaufsichtigt) werden, die von jemandem mit Labeln oder Tags versehen wurden. Ein Anwendungsbeispiel wäre die Erkennung ungewöhnlicher Muster (z. B. von Betrugsmerkmalen) bei Finanztransaktionen.
- **Überwachtes Lernen** bezieht sich auf die Gruppe von Ansätzen, bei denen das Lernen durch die Label-Beispiele oder die Ausgabe der Daten überwacht wird. Die Maschine

erhält Beispiele oder Trainingsdaten (mit Label versehene Daten) und kann eine Funktion erlernen, welche die Eingabe der Trainingsdaten auf eine Ausgabe² überträgt. Ein Anwendungsbeispiel wäre die Bilderkennung, z. B. die Unterscheidung zwischen Katzen und Hunden. Zwischen diesem und dem oben genannten Ansatz gibt es Ansätze mit teilweiser Überwachung.

- **Verstärkendes Lernen** bedeutet, das optimale Verhalten in einer bestimmten Umgebung zu erlernen, um die maximale Belohnung zu erhalten. Dieses optimale Verhalten wird durch Interaktionen mit der Umwelt und durch Beobachtung ihrer Reaktionen erlernt. Ein Beispiel wären selbstfahrende Autos, die durch Versuch und Irrtum lernen.

In den kommenden Jahren und Jahrzehnten werden die Datenmengen weiter wachsen, da die Zahl der Handheld- und Online-Geräte exponentiell zunimmt und das Internet der Dinge Realität wird. Die schiere Menge an Daten, die dabei entsteht, ist schwer vorstellbar. Künftige Anwendungsmöglichkeiten für Analysen und innovative Computertechniken für die Datenverarbeitung und -fusion werden zunehmend leistungsfähige KI-Methoden – insbesondere des maschinellen Lernens – umfassen, wie oben erläutert.

Die logische Abfolge, in der sich die Fortschritte bei der KI entfalten werden, lässt sich in drei Stufen einteilen:

- **Artificial Narrow Intelligence** (ANI, deutsch «Schwache künstliche Intelligenz» oder «Schwache KI») ist maschinelle Intelligenz, welche die menschliche Intelligenz bei spezifischen Aufgaben wie Schach, Hochfrequenzhandel oder anderen spezialisierten automatischen Systemen erreicht oder übertrifft und Leistungen erbringt, die über menschliche Fähigkeiten hinausgehen;
- **Artificial General Intelligence** (AGI, deutsch «Künstliche allgemeine Intelligenz» oder «Starke KI») ist maschinelle Intelligenz, die das gesamte Spektrum menschlicher Leistungsfähigkeit bei beliebigen Aufgaben erreicht;
- **Artificial Superintelligence** (ASI, deutsch «Superintelligenz») bezeichnet maschinelle Intelligenz, welche die menschliche Intelligenz bei jeder Aufgabe übertrifft.

Data Science gewinnt durch die zunehmende Digitalisierung nahezu aller Aspekte unserer Arbeit und unseres Lebens an Bedeutung. Unterstützt wird dies durch massive Investitionen sowie die Verfügbarkeit öffentlich zugänglicher Trainingsdatensätze und Tools für die Entwicklung und Tests von Algorithmen. Der Wechsel zu Cloud-Plattformen hat die Datenverfügbarkeit und den Datenzugriff rapide verbessert.

Erhebliche Investitionen, die aufgrund der jüngsten rasanten Fortschritte auf diesem Gebiet getätigt werden, geben den Entwicklungen im Bereich der künstlichen Intelligenz weiteren Auftrieb.

- **Verstärkendes Lernen** bedeutet, das optimale Verhalten in einer bestimmten Umgebung zu erlernen, um die maximale Belohnung zu erhalten. Dieses optimale Verhalten wird durch Interaktionen mit der Umwelt und durch Beobachtung ihrer Reaktionen erlernt. Ein Beispiel wären selbstfahrende Autos, die durch Versuch und Irrtum lernen.

1 Ein interessanter Typ neuronaler Netze, der zum Zeitpunkt der Abfassung dieses Artikels weit verbreitet ist, ist das Transformer-Modell. Das Transformer-Modell lernt den Kontext und damit die Bedeutung, indem es Beziehungen in sequenziellen Daten wie den Wörtern in diesem Satz verfolgt.

2 Eine interessante Unterklasse bilden die Ansätze des Null-Schuss-Lernens, Wenig-Schuss-Lernens und Ein-Schuss-Lernens. Dies sind alles Techniken, die es einem maschinellen Lernmodell ermöglichen, Vorhersagen oder Klassifizierungen mit begrenzten, mit Labeln versehenen Daten zu treffen. Die Wahl der Technik hängt von der spezifischen Problemstellung und der Menge der für neue Kategorien oder Label (Klassen) verfügbaren Daten ab.

In den kommenden Jahren und Jahrzehnten werden die Datenmengen weiter wachsen, da die Zahl der Handheld- und Online-Geräte exponentiell zunimmt und das Internet der Dinge Realität wird. Die schiere Menge an Daten, die dabei entsteht, ist schwer vorstellbar. Künftige Anwendungsmöglichkeiten für Analysen und innovative Computertechniken für die Datenverarbeitung und -fusion werden zunehmend leistungsfähige KI-Methoden – insbesondere des maschinellen Lernens – umfassen, wie oben erläutert.

Die logische Abfolge, in der sich die Fortschritte bei der KI entfalten werden, lässt sich in drei Stufen einteilen:

- **Artificial Narrow Intelligence** (ANI, deutsch «Schwache künstliche Intelligenz» oder «Schwache KI») ist maschinelle Intelligenz, welche die menschliche Intelligenz bei spezifischen Aufgaben wie Schach, Hochfrequenzhandel oder anderen spezialisierten automatischen Systemen erreicht oder übertrifft und Leistungen erbringt, die über menschliche Fähigkeiten hinausgehen;

- **Artificial General Intelligence** (AGI, deutsch «Künstliche

allgemeine Intelligenz» oder «Starke KI») ist maschinelle Intelligenz, die das gesamte Spektrum menschlicher Leistungsfähigkeit bei beliebigen Aufgaben erreicht;

- **Artificial Superintelligence** (ASI, deutsch «Superintelligenz») bezeichnet maschinelle Intelligenz, welche die menschliche Intelligenz bei jeder Aufgabe übertrifft.

Data Science gewinnt durch die zunehmende Digitalisierung nahezu aller Aspekte unserer Arbeit und unseres Lebens an Bedeutung. Unterstützt wird dies durch massive Investitionen sowie die Verfügbarkeit öffentlich zugänglicher Trainingsdatensätze und Tools für die Entwicklung und Tests von Algorithmen. Der Wechsel zu Cloud-Plattformen hat die Datenverfügbarkeit und den Datenzugriff rapide verbessert.

Erhebliche Investitionen, die aufgrund der jüngsten rasanten Fortschritte auf diesem Gebiet getätigt werden, geben den Entwicklungen im Bereich der künstlichen Intelligenz weiteren Auftrieb.

AUSWIRKUNGEN UND DIE WICHTIGSTEN UNSICHERHEITEN UND HERAUSFORDERUNGEN:

In der folgenden Tabelle fassen wir zusammen, welche Funktionen im Allgemeinen durch den Einsatz von Data Science und künstlicher Intelligenz möglich sind und welche ihrer Wirkungskennzahlen sich voraussichtlich verbessern werden. Zudem nennen wir einige Beispielanwendungen, die durch diese Verbesserungen realisierbar wären.

ÜBERGEORDNETE KATEGORIEN VON DATA SCIENCE UND KI	MÖGLICHE ZUKÜNFTIGE VERBESSERUNGEN	MÖGLICHE ANWENDUNGSBEISPIELE
DATA SCIENCE	VERBESSERUNGEN Z. B. BEI: <ul style="list-style-type: none"> • DESKRIPTIVEN FÄHIGKEITEN • PRÄDIKTIVEN FÄHIGKEITEN 	<ul style="list-style-type: none"> • VORHERSAGE VON EXTREMEN WETTEREREIGNISSEN • VORHERSAGE VON KONFLIKTEN
KI - VERARBEITUNG VON EINGABEN	VERBESSERUNGEN Z. B. BEI: <ul style="list-style-type: none"> • WAHRNEHMUNG • VERARBEITUNG NATÜRLICHER SPRACHE • ÜBERNAHME VON HINWEISEN AUS DER SOZIALEN INTELLIGENZ 	<ul style="list-style-type: none"> • VERARBEITUNG UND VERSTÄNDNIS VON TEXT • ERKENNUNG DER BEDEUTUNG VON GESTEN
KI - PLANUNG UND AUSFÜHRUNG VON AUSGABEN	VERBESSERUNGEN Z. B. BEI: <ul style="list-style-type: none"> • DARSTELLUNG VON WISSEN • PRIORISIERUNG • PLANUNG 	<ul style="list-style-type: none"> • PLANUNG UND TERMINIERUNG FÜR DIE LOGISTIK • UNTERSTÜTZTE ENTSCHEIDUNGSFINDUNG, Z. B. IM KAMPF

Im Anschluss werden die Auswirkungen und die wichtigsten Unsicherheiten und Herausforderungen von Data Science und künstlicher Intelligenz für die einzelnen Kategorien beleuchtet:

— **IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Data Science und künstliche Intelligenz haben das Potenzial, die Arbeitsmärkte und Beschäftigungsmuster neu zu gestalten. Sie schaffen zwar neue Beschäftigungsmöglichkeiten in den Technologiesektoren, führen jedoch auch zu Verdrängungen und veränderten Qualifikationsanforderungen in anderen Sektoren. Datengesteuerte Algorithmen können Vorurteile, die in historischen Daten vorhanden sind, perpetuieren und so zu diskriminierenden Ergebnissen führen. Die Integration von künstlicher Intelligenz in das tägliche Leben (z. B. Chatbots, virtuelle Assistenten) wirkt sich auf die Interaktion zwischen Mensch und Computer und die soziale Dynamik aus.

- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wie lassen sich die Vorteile der KI-Einführung auf die Gesellschaft verteilen? Inwieweit werden Vertrauen und Akzeptanz von KI-Technologien deren Nutzung beeinflussen? Wie kann künstliche Intelligenz ethisch vertretbar eingesetzt werden? Wie können die Nutzerinnen und Nutzer von KI darin geschult werden, KI-Ergebnisse kritisch zu betrachten?

— **IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Data Science und künstliche Intelligenz werden erhebliche Auswirkungen auf fast alle Sektoren haben und für Verbesserungen entlang der Wertschöpfungskette sorgen. Die Einbindung von Data Science und künstlicher Intelligenz in technische, betriebliche und geschäftliche Abläufe kann die Produktentwicklung und -nutzung neu definieren.

- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wie können die für das KI-Training verwendeten Daten verbessert werden? Wie wird die erklärbar künstliche Intelligenz weiterentwickelt? Wie wird sich die Skalierbarkeit und Leistung der künstlichen Intelligenz bei zunehmenden Datenmengen und Modellkomplexitäten entwickeln? Wie wird sich die Energieeffizienz von KI-Algorithmen entwickeln?

— **IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Data Science und künstliche Intelligenz können bahnbrechende wirtschaftliche Auswirkungen haben. Dies kann auf Produktivitätssteigerungen zurückzuführen sein, die sich aus der Automatisierung von Routineaufgaben ergeben. Dadurch können Mitarbeitende ihre Fähigkeiten verbessern und sich auf anspruchsvollere Arbeiten mit höherer Wertschöpfung konzentrieren. Die grössten Produktivitätssteigerungen werden voraussichtlich in kapitalintensiven Sektoren wie dem verarbeitenden Gewerbe und dem Transportwesen erzielt werden. Relevant sind auch die von der künstlichen Intelligenz ausgelösten Veränderungen in der Verbrauchernachfrage, im Verbraucherverhalten und im Konsum. Konsumentinnen und Konsumenten werden von einem höheren Qualitätsniveau und stärker personalisierten Produkten und Dienstleistungen angesprochen, werden aber auch die Möglichkeit haben, ihre Zeit besser zu nutzen.

- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wie wird sich künstliche Intelligenz auf die Arbeitswelt auswirken? Welche Sektoren werden am stärksten betroffen sein? Wird es aufgrund der Dominanz, welche die grossen Technologieunternehmen in der KI-Forschung und KI-Entwicklung

einnehmen, zu einer Marktkonzentration und einem geringeren Wettbewerb kommen?

— **IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Data Science und künstliche Intelligenz können sich sowohl positiv als auch negativ auf die Umwelt auswirken. Der Energiebedarf von Rechenzentren für KI- und Data-Science-Anwendungen ist enorm. Zudem erfordert die Herstellung von Hardwarekomponenten wie Servern, Grafikprozessoren und speziellen Chips natürliche Ressourcen und erzeugt Abfall. Data Science und künstliche Intelligenz können auch zur Bewältigung von Umweltproblemen, zur Erleichterung der Klimamodellierung und sogar zur Erstellung von Vorhersagemodellen, z. B. zur Vorhersage von Naturkatastrophen, eingesetzt werden.

- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wie wird sich die Energieeffizienz der für das KI-Training genutzten Rechenzentren und Computerinfrastrukturen entwickeln?

— **IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Die zunehmende Datenerfassung und -analyse wirft Fragen hinsichtlich des Datenschutzes und der Überwachung auf. Künstliche Intelligenz und datengesteuerte Technologien stützen sich häufig auf personenbezogene Daten, was zu Debatten über das Gleichgewicht zwischen den Datenschutzrechten des Einzelnen und dem gesellschaftlichen Nutzen führt. Innovative künstliche Intelligenz wird oft als hohes Risiko oder sogar als existenzielle Bedrohung für die Menschheit angesehen. Hier müssen Anstrengungen für eine wirksame Regulierung unternommen werden.

- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wie lassen sich Bedenken hinsichtlich Dateneigentum, Nutzungsrechten und Ausgleichsmechanismen am besten ausräumen? Wie können Streitigkeiten über geistige Eigentumsrechte im Zusammenhang mit KI-Technologien beigelegt werden? Wie soll mit gefälschten, durch die künstliche Intelligenz generierten Informationen umgegangen werden?

SCHWACHE SIGNALE:

- › Forschende am **MIT** haben eine Technologie eingeführt, die das Training von Deep-Learning-Modellen auf Edge-Geräten wie Mobiltelefonen ermöglicht, wobei auf einigen Hardware-Plattformen eine bis zu 15-mal kürzere Trainingszeit ohne Einbussen der Genauigkeit erreicht wird.

- › Forschende der **Chinese Academy of Sciences** [der Chinesischen Akademie der Wissenschaften] setzen KI ein, um soziales Verhalten bei Tieren genau zu erkennen und zu klassifizieren. Diese Technologie kann ein Individuum aus mehreren fast identisch aussehenden Tieren identifizieren und funktionierte artübergreifend.

- › Forschende der **South Dakota State University** [der Staatlichen Universität von South Dakota] haben Pionierarbeit bei der Entwicklung eines KI-basierten Modells zur Vorhersage von Aktienkursbewegungen und Volatilität geleistet.

- › **Portcast**, ein Start-up der Logistikbranche, hat eine prädiktive Analyselösung entwickelt, die Daten aus verschiedenen Quellen nutzt, um Frachtkosten zu senken, indem sie Transportrouten optimiert und Faktoren wie Wetter, Gezeiten und Windgeschwindigkeit berücksichtigt.

- › **Google Deep Mind** entwickelt ein KI-Modell, um Millionen neuer Werkstoffe für verschiedene Anwendungen vorherzusagen.

WECHSELWIRKUNGEN MIT ANDEREN TRENDS:

- › **Robotik** und autonome Systeme: Der zunehmende Einsatz intelligenter, weit verbreiteter, allgegenwärtiger, billiger, kostengünstiger und vernetzter Sensoren und autonomer (physischer oder virtueller) Einheiten wird gewaltige Datenmengen generieren. Methoden der Data Science und der künstlichen Intelligenz können diese Datenfülle nutzen und auch deren Analyse ermöglichen.
- › **Immersive Technologien:** Data Science und künstliche Intelligenz werden bei der Entwicklung von immersiven Technologien eine wichtige Rolle spielen. Darüber hinaus wird die künstliche Intelligenz eine weitere Quelle vielschichtiger Daten sein, die zur Weiterentwicklung der Data Science beitragen wird.
- › **Quantentechnologien:** Quantencomputing kann langfristig für das Training neuer, leistungsfähigerer Quantenalgorithmen für künstliche Intelligenz eingesetzt werden.
- › **Sensortechnologien:** Die Miniaturisierung und Verbreitung von Sensoren in allen Bereichen des menschlichen Handelns wird eine Fülle von Daten für die weitere Nutzung liefern und digitale Zwillinge realer Objekte ermöglichen.
- › **Neue Raumfahrttechnologien:** Weltraumgestützte Daten, beispielsweise Daten aus der Erdbeobachtung, werden eine wichtige Datenquelle sein. KI-Methoden können in der Raumfahrt eingesetzt werden, beispielsweise bei der Entwicklung von Raumfahrzeugen und der operativen Autonomie.
- › **Neue Werkstoffe und digitale Produktion:** Data Science und künstliche Intelligenz sind zwei der wichtigsten Wegbereiter für neue digitale Produktionsmethoden.
- › **Erneuerbare Energien und Resilienz:** Daten und künstliche Intelligenz können dazu beitragen, das Klima genauer zu erforschen und die Auswirkungen des Klimawandels abzumildern.
- › **Human-Enhancement-Technologien:** Technologien zur Verbesserung der menschlichen Fähigkeiten (Human-Enhancement-Technologien) werden sowohl grosse Datenmengen liefern als auch zahlreiche fortschrittliche KI-Methoden nutzen.

- › **Cyber-Technologien:** Die Speicher- und Rechenkapazitäten für die in Zukunft rapide ansteigenden Datenmengen werden wohl der ausschlaggebende Faktor für die Expansion des Cyberspace sein. KI-Methoden können auch in fortschrittlichen Cyber-Sicherheitsanwendungen eingesetzt werden.
- › **Digitale Kommunikation:** Die digitale Kommunikation wird bei der Erfassung und effektiven Kommunikation der wachsenden Datenmengen eine Schlüsselrolle spielen.

WECHSELWIRKUNGEN MIT MEGATRENDS:

- › **Veränderung der Arbeitswelt:** Data Science und künstliche Intelligenz werden sich bahnbrechend auf die Arbeitswelt auswirken und einige Arbeitsplätze beseitigen, während andere neu geschaffen werden.
- › **Sicherheitsverständnis im Wandel:** Data Science und künstliche Intelligenz werden zu einem weiteren Instrument im geopolitischen Wettbewerb.
- › **Diversifizierung von Bildung und Lernen:** Data Science und künstliche Intelligenz werden die Bildungssysteme der Zukunft vor grosse Herausforderungen stellen, aber auch Chancen bieten.
- › **Zunehmende Ungleichheiten:** Data Science und künstliche Intelligenz könnten die Ungleichheit verstärken, indem sie immer mehr Arbeitskräfte durch intelligente Maschinen ersetzen.
- › **Wachsender Konsum:** Data Science und künstliche Intelligenz werden den Konsum steigern, indem sie stärker personalisierte Produkte und mehr Freizeit für Konsumentinnen und Konsumenten bieten.

REFERENZEN UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

- De Spiegeleire, S. et al., «Artificial intelligence and the future of defence» [Künstliche Intelligenz und die Zukunft der Verteidigung], The Hague Center for Strategic Studies [Zentrum für strategische Studien in Den Haag], Bericht, 2017, <https://hcss.nl/wp-content/uploads/2017/05/Artificial-Intelligence-and-the-Future-of-Defense.pdf>
- Reding, D.F. et al., «Science & Technology Trends 2020-2040» [Wissenschafts- und Technologietrends 2020–2040], NATO Science & Technology Organisation, Bericht, 2020, https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2020/4/pdf/190422-ST_Tech_Trends_Report_2020-2040.pdf
- Torres Torres, M. et al., «The Dstl Biscuit Book, Artificial Intelligence, Data Science and (mostly) Machine Learning» [Künstliche Intelligenz, Data Science und (hauptsächlich) maschinelles Lernen], Universität von Nottingham und DSTL, Broschüre, 2019, https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5de69d6bed915d015e20f548/The_Dstl_Biscuit_Book_WEB.pdf
- Manyika, J. et al., «Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity» [Die nächste Grenze für Innovation, Wettbewerb und Produktivität], McKinsey Global Institute, Report, 2011, https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/big%20data%20the%20next%20frontier%20for%20innovation/mgi_big_data_full_report.pdf
- Alexieva, S. et al., «Unlocking the power of Data and AI» [Die Freisetzung des Potenzials von Daten und KI], Accenture, Präsentation, 2023, <https://www.accenture.com/content/dam/accenture/final/accenture-com/imagery/Accenture-Unlocking-The-Power-of-Data-and-AI.pdf>
- Trendmanager-Tool von Trendone, letzter Zugriff am 21.03.2024, <https://www.trendmanager.com/>



IMMERSIVE TECHNOLOGIEN

VERSCHMELZUNG DER PHYSISCHEN
UND DER VIRTUELLEN WELT ZUR
TRANSFORMATION VON ERFAHRUNGEN

BESCHREIBUNG:

Immersive Technologien können ein sehr intensives, multisensorisches digitales Erlebnis bewirken. **Erweiterte Realität (Augmented Reality – AR)** überlagert die reale Nutzerumgebung mit digital erstellten Inhalten. **Virtual Reality (Virtuelle Realität – VR)** schafft eine vollständig gerenderte digitale Umgebung, welche die reale Nutzerumgebung ersetzt. **Mixed Reality (Gemischte Realität – MR)** verbindet die reale Nutzerumgebung nahtlos mit digital erstellten Inhalten, sodass beide Umgebungen nebeneinander existieren und interagieren können. Extended Reality (XR) ist ein Oberbegriff, der AR, VR und MR umfasst. Beispiele für erweiterte Technologien sind Projektionen von Telefongeräten, Windschutzscheiben von Autos und Brillen. Beispiele für Geräte der Virtual-Reality-Technologie sind Headsets für eine vollständig immersive Virtual-Reality-Erfahrung.

Immersive Technologien erfordern die folgenden Schlüsselkomponenten:

- **Am Körper getragene Sensoren** verfolgen und identifizieren Benutzer und die Bewegungen ihrer Gliedmassen sowie die Objekte in ihrer Umgebung.
- **Ausserhalb des Körpers platzierte Sensoren** ermöglichen eine präzisere Nachbildung von Elementen der physischen Welt in virtuellen Räumen.

- **Haptische Geräte** vermitteln dem Benutzer Wahrnehmungen des Tastsinns durch Vibrationen, um virtuelle Erfahrungen zu verstärken.
- **Hologramme und volumetrische Videos** brechen das Licht über mehrere Wellenfronten, um hochwertige 3D-Darstellungen zu erzeugen, die ohne Headset betrachtet werden können.
- Bei der **Elektromyographie** handelt es sich um eine Neurotechnologie, die elektrische Muskelaktivität erkennt und aufzeichnet, um Bewegungen zu steuern und Objekte in virtuellen Räumen zu manipulieren.
- **Mikroelektromechanische Systeme (MEMS)** nutzen Ultraschallwellen in der Luft, um Nutzerinnen und Nutzern taktile Erfahrungen zu ermöglichen, ohne dass sie tragbare Technologien (Wearables) benötigen.

Anwendungen immersiver Technologien lassen sich grob in die folgenden Kategorien einteilen:

- **Produktdesign und -entwicklung:** Die digitale Realität kann Wissensarbeitern den Zugang zu spezifischen Informationen genau dann ermöglichen, wenn sie diese benötigen, und zwar in jeder Phase des Design- und Entwicklungslebenszyklus. So können Bauingenieurinnen und -ingenieure durch das Tragen einer Augmented-Reality-Brille beispielsweise eine detaillierte Beschreibung der elektrischen Komponenten und der Installationsarbeiten eines Projekts vor Ort sehen.

- **Zusammenarbeit:** Immersive Technologien ermöglichen Arbeitnehmenden, mit Kolleginnen und Kollegen an anderen Standorten zu interagieren, Informationen auszutauschen und sie zu unterstützen. So können beispielsweise Ingenieurinnen und Ingenieure, die in einem regionalen Büro sitzen, das sehen, was Mitarbeitende vor Ort sehen.
- **Lernen und Ausbildung:** Immersive Technologien können Auszubildende in realitätsnahe Situationen versetzen, die im wirklichen Leben zu teuer oder logistisch unmöglich nachzustellen wären. Eine Variation davon wäre die Behandlung psychologischer Probleme, etwa von posttraumatischen Belastungsstörungen und Phobien.
- **Verbesserte Kundenerfahrung:** Immersive Technologien kommen mittlerweile im Einzelhandel, in der Reise-, Hotel- und Freizeitbranche sowie im Immobiliensektor zum Einsatz, um potenziellen Kundinnen und Kunden die jeweiligen Produkte, Dienstleistungen und Erfahrungen näherzubringen.

In naher Zukunft könnte Augmented Reality vor allem als Machbarkeitsnachweis existieren, der auf eng definierte Umgebungen beschränkt ist und lediglich einfache visuelle Überlagerungen über die reale Welt legt. Mittelfristig könnte sich Augmented Reality bei den Konsumentinnen und Konsu-

menten durchsetzen, und es könnten auch anspruchsvollere industrielle Anwendungsszenarien realisiert werden. Auf längere Sicht werden die Augmented-Reality-Geräte kleiner und die Anwendungsszenarien vielfältiger werden, mit einer nahtlosen digitalen Ebene, welche die reale Welt überlagern wird.

In naher Zukunft bietet die virtuelle Realität nur begrenzte virtuelle Welten; sie wird über externe Peripheriegeräte gesteuert, was die Immersion einschränkt. Mittelfristig wird eine realitätsnahe und komfortable virtuelle Realität auf breiter Basis verfügbar sein. Langfristig werden virtuelle Welten in der virtuellen Realität kaum noch vom echten Leben zu unterscheiden sein, und die Qualität der Haptik wird sich derart verbessert haben, dass sie realistische körperliche Empfindungen vermittelt.

Beträchtliche Investitionen aus dem kommerziellen Sektor beschleunigen die Entwicklung immersiver Technologien. Weitere soziale und technologische Faktoren, die diesem Trend Aufwind verleihen, sind die verstärkte Nutzung von Smartphones und vernetzten Geräten, die zunehmende Verbreitung von 5G-Netzen und der Bedarf an mehr Kollaborationsplattformen, die Telearbeit ermöglichen.

AUSWIRKUNGEN UND DIE WICHTIGSTEN UNSICHERHEITEN UND HERAUSFORDERUNGEN:

Die nachstehende Tabelle enthält eine Zusammenfassung der Funktionen, die durch immersive Technologien allgemein zur Verfügung gestellt werden, sowie der Wirkungskennzahlen, die sich für diese Funktionen voraussichtlich verbessern werden, gefolgt von Beispielanwendungen, die durch solche Verbesserungen möglich würden.

ÜBERGEORDNETE KATEGORIEN VON IMMERSIVEN TECHNOLOGIEN	MÖGLICHE ZUKÜNFTIGE VERBESSERUNGEN	MÖGLICHE ANWENDUNGSBEISPIELE
PRODUKTDESIGN UND -ENTWICKLUNG	<ul style="list-style-type: none"> • KOSTENEINSPARUNGEN • EFFIZIENZSTEIGERUNG • NEUE METHODEN ZUR ANALYSE VON DATEN UND GEWINNUNG VON ERKENNTNISSEN 	<ul style="list-style-type: none"> • IMPLEMENTIERUNG FÜR DIE PLANUNG EINES NEUEN SATELLITEN • DIGITALE PRODUKTZWILLINGE FÜR VIRTUELLE BEGEGUNGEN
ZUSAMMENARBEIT	<ul style="list-style-type: none"> • HÖHERE PRODUKTIVITÄT • GERINGERES RISIKO • GRENZÜBERSCHREITEND 	<ul style="list-style-type: none"> • UNTERSTÜTZUNG FÜR AUSSENDIENST • GEMEINSAME VIRTUELLE WHITEBOARDS FÜR BRAINSTORMING
LERNEN UND AUSBILDUNG	<ul style="list-style-type: none"> • BESSERE MERKFÄHIGKEIT VON LERNINHALTEN • GERINGERES RISIKO • KOSTENEINSPARUNGEN • BESSERE THERAPIEERGEBNISSE 	<ul style="list-style-type: none"> • IMMERSIVES SUCH- UND RETTUNGSTRAINING • FAHRSTUNDEN
VERBESSERTE KUNDEN-ERFAHRUNG	<ul style="list-style-type: none"> • STÄRKERE KUNDEN-BINDUNG • MEHR MARKETING-MÖGLICHKEITEN • UMSATZSTEIGERUNG 	<ul style="list-style-type: none"> • VIRTUELLE KONFERENZEN UND EVENTS • VIRTUELLES EINKAUFSZENTRUM

Im Anschluss werden die Auswirkungen und die wichtigsten Unsicherheiten und Herausforderungen der immersiven Technologien für die einzelnen Kategorien beleuchtet:

— IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:

- **Auswirkungen:** Es werden neue Produkte und Dienstleistungen durch immersive Technologien eingeführt, welche die Konsumentinnen und Konsumenten auf neue Weise ansprechen und das Kundenerlebnis verbessern. So könnten beispielsweise immersive Technologien zur führenden Plattform für Videostreaming werden, mit den entsprechenden Auswirkungen auf bestehende Plattformen. Immersive Technologien könnten soziale Interaktionen beeinflussen und diese zunehmend digitalisieren.
- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Werden immersive Technologien den aktuellen Trend zur Telearbeit verstärken? Welche Auswirkungen, Unsicherheiten und Herausforderungen wird es geben?

— IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:

- **Auswirkungen:** Immersive Technologien können die Produktionseffizienz auf verschiedene Weise steigern. Virtuelles Rapid Prototyping kann beispielsweise Designänderungen in einem frühen Stadium ermöglichen. Digitale Zwillinge können eine virtuelle Besichtigung oder Begehung der in der Entwicklung befindlichen Produkte ermöglichen. Der Produktionsprozess kann durch Frühwarnmechanismen, verbesserte Qualitätssicherung usw. optimiert werden. Die auf die gesammelten Nutzerdaten angewandte Analytik kann das Produktdesign weiter verbessern.
- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Bleiben die Ideen der Augmented Technology in der Phase der Machbarkeitsprüfung, oder können sie für den Markt skaliert werden? Wie werden sich ergänzende Technologien (z. B. Miniaturisierung, Robustheit, Fortschritte bei der Sensorik, Datenspeicherung, Konnektivität) entwickeln, die erforderlich sind, um Skaleneffekte bei immersiven Technologien zu erzielen? Welche Anwendungen werden eine breitere Akzeptanz und Nutzung erfahren? Wie können komplexe Sicherheitsschwachstellen (z. B. Cyber-Bedrohungen, Datenschutz) entschärft werden?

— IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:

- **Auswirkungen:** Immersive Technologien können dank einer effektiven Produktentwicklung, optimierter Prozesse und besserer Schulungen Kosten senken. Neue Produkte und Dienstleistungen können die Konsumentinnen und Konsumenten auf neue Art und Weise ansprechen und das Kundenerlebnis verbessern und so den Umsatz und den Verbrauch steigern. Analysen, die auf die gesammelten Nutzerdaten angewandt werden, können auch zur Steuerung von Werbung verwendet werden.

- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wie können die Kosten so gesenkt werden, dass mehr Anwendungen kommerziell nutzbar und skalierbar werden? Gibt es praktikable Geschäftsmodelle?

— IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:

- **Auswirkungen:** Für weitere Fortschritte bei immersiven Technologien ist eine erhebliche Rechenleistung zur Erzeugung der Umgebungen erforderlich. Dies wird sich möglicherweise stark auf den Energieverbrauch und somit auch auf die Umwelt auswirken.
- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Werden immersive Technologien auf den Markt kommen, bevor eine Energieoptimierung stattgefunden hat? Wie wird sich die Energieeffizienz von Computerhardware und -infrastruktur für immersive Technologien entwickeln?

— IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:

- **Auswirkungen:** Immersive Technologien könnten auch im politischen Bereich eingesetzt werden und eine direktere und stärker auf Erfahrungen basierende Beteiligung ermöglichen. Auch im Verteidigungsbereich gibt es zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten, z. B. in der Ausbildung, der Logistik und im Gefechtsfeld.
- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wie wird die Verwendung sensibler Nutzerdaten, die von Augmented-Reality-Geräten erfasst werden, reguliert? Welche Möglichkeiten neuer Formen von Missbrauch, Betrug und Kriminalität werden durch Augmented Reality möglich? Inwieweit kann die immersive Realität die Verbreitung von Falschinformationen erleichtern?

SCHWACHE SIGNALE:

- › **Kentucky Fried Chicken** versetzt Mitarbeitende in einen virtuellen Escape Room, in dem sie einen fünfstufigen Hähnchenzubereitungsprozess erfolgreich abschließen müssen, bevor sie den Raum wieder verlassen können.
- › Das Start-up-Unternehmen **Sophia Technologies** beabsichtigt, eine auf Metaverse basierende «Bildungsstadt» zu errichten, um Schüler weltweit von der 1. bis zur 12. Klasse zu unterrichten.
- › **Die Johns Hopkins University** [Johns-Hopkins-Universität] und **NVIDIA** arbeiten gemeinsam an einem 3D-Rekonstruktionsalgorithmus, um Objektformen aus Smartphone-Videos ohne zusätzliche Eingaben zu rekonstruieren, was auf vielversprechende Anwendungen in der virtuellen Realität schliessen lässt.
- › Forschende des **Virginia Polytechnic Institute** haben Tools eingeführt, um die Privatsphäre von Umstehenden in Echtzeit-Sensordaten zu schützen, indem sie Eye-Tracking, Nahfeldmikrofone und räumliche Wahrnehmung einsetzen.

WECHSELWIRKUNGEN MIT ANDEREN TRENDS:

- › **Data Science und KI:** Augmented- und Virtual-Reality-Geräte werden ein bedeutendes Volumen hochwertiger Daten erzeugen, die der weiteren Nutzung zugeführt werden können. Methoden der generativen KI könnten für die Erzeugung von virtuellen Objekten und Welten in der virtuellen und erweiterten Realität eingesetzt werden.
- › **Quantentechnologien:** Es ist denkbar, dass Quantentechnologien in immersiven Technologieanwendungen angewandt werden, um beispielsweise die Datensicherheit durch Quantenkryptographie zu gewährleisten.
- › **Sensortechnologien:** Neuartige, leistungsfähigere, kleinformatige und allgegenwärtige Sensoren könnten Teil von kurz- und längerfristigen Anwendungen der immersiven Technologie sein.
- › **Neue Raumfahrttechnologien:** Immersive Technologien könnten für spezielle Raumfahrtanwendungen wie das Astronautentraining und die komplexe Teleoperation von Robotern von entscheidender Bedeutung werden.
- › **Neue Werkstoffe und digitale Produktion:** Immersive Technologien könnten ein Eckpfeiler künftiger digitaler Produktionskonzepte sein, insbesondere für Produktdesign und kollaboratives Arbeiten. Neuartige Werkstoffe könnten zudem leichtere und effizientere Augmented- und Virtual-Reality-Geräte ermöglichen.
- › **Erneuerbare Energien und Resilienz:** Da immersive Technologien einen sehr hohen Rechenaufwand erfordern, könnten sie den Energieverbrauch signifikant erhöhen und damit die Umwelt belasten.
- › **Human-Enhancement-Technologien:** Human-Enhancement-Technologien, also Technologien zur Verbesserung der menschlichen Fähigkeiten, wie beispielsweise Gehirn-Computer-Schnittstellen, könnten eine Schlüsselkomponente für längerfristige immersive Technologieanwendungen sein.
- › **Cyber-Technologien:** Immersive Technologien wären zweifellos ein attraktives Ziel für böswillige Cyber-Angriffe, nicht zuletzt, weil sie eine beträchtliche Menge an personenbezogenen Daten erfassen.

› **Digitale Kommunikation:** 5G und andere digitale Konnektivitätstechnologien sind für die weitere Entwicklung immersiver Technologien von zentraler Bedeutung, da sie eine leistungsfähige Konnektivität mit hoher Geschwindigkeit erfordern.

› **Robotik und autonome Systeme:** Immersive Technologien könnten ein zentraler Aspekt der Mensch-Roboter-Kooperation und -Interaktion sowie der komplexen Teleoperation von Robotern sein.

WECHSELWIRKUNGEN MIT MEGATRENDS:

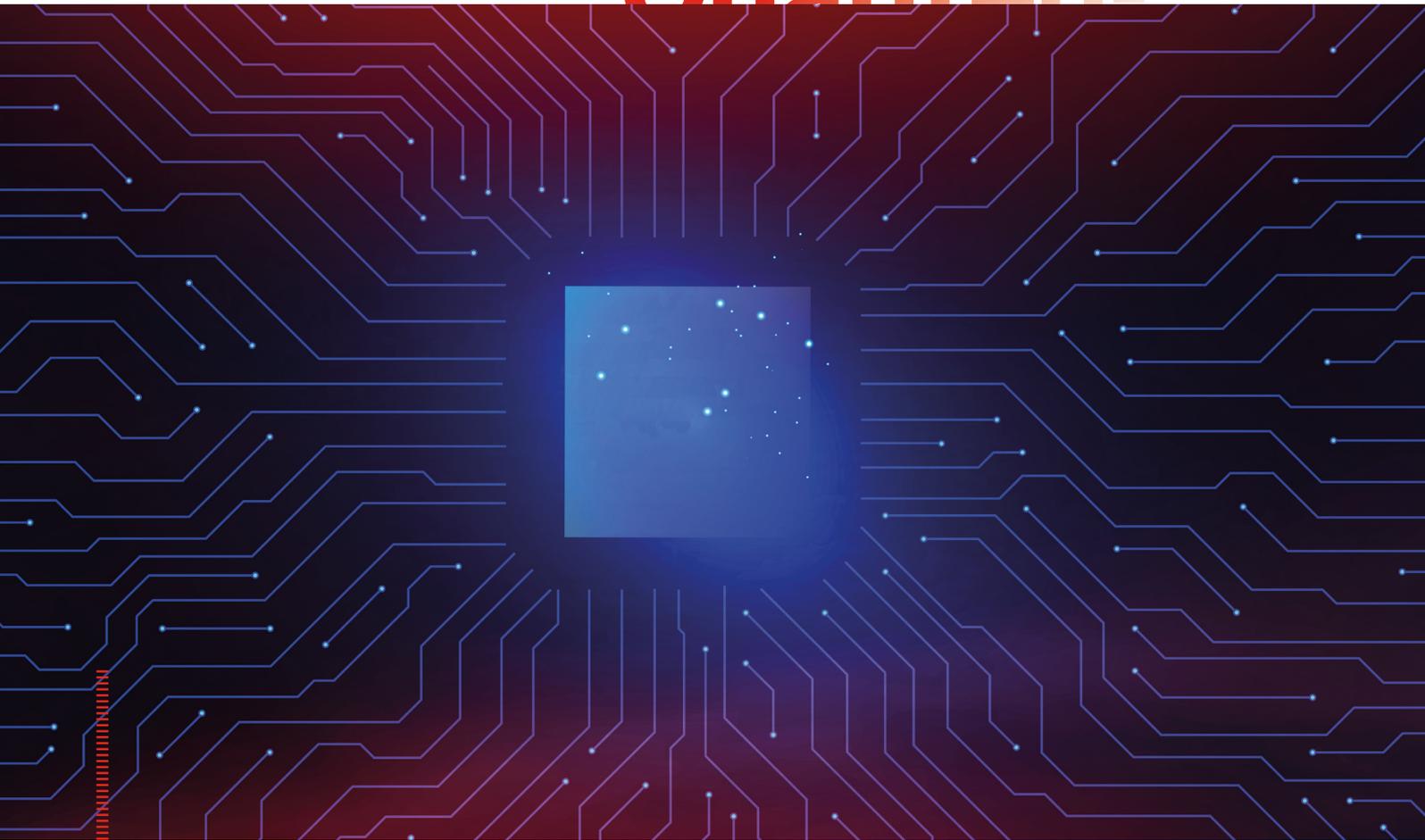
› **Veränderung der Arbeitswelt:** Immersive Technologien könnten enorme Auswirkungen auf die Arbeitswelt haben, indem sie beispielsweise komplexes Teleworking ermöglichen.

› **Diversifizierung von Bildung und Lernen:** Immersive Technologien haben das Potenzial, Bildung und Lernen zu revolutionieren, indem sie ortsunabhängige und immersive Lernerfahrungen bieten. Sie könnten jedoch auch Zugang zu extrem personalisierten und immersiven Welten bieten, was zur Folge haben könnte, dass sich immer mehr Menschen in diese Welten zurückziehen.

› **Wachsender Konsum:** Immersive Technologien könnten neue Möglichkeiten bieten, bestehende und neuartige Produkte und Dienstleistungen zu kaufen und zu konsumieren, beispielsweise durch immersives virtuelles Einkaufen.

REFERENZEN UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

- Corless, K. et al., «Deloitte Insights - Tech Trends 2018», Deloitte, Bericht, 2018, https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/Tech-Trends-2018/4109_TechTrends-2018_FINAL.pdf
- Karanjia, B. et al., «Virtual, augmented, and mixed reality for defence and the public sector» [Virtuelle, erweiterte und gemischte Realität für den Verteidigungs- und den öffentlichen Sektor], Deloitte, Bericht, 2019, https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/in/Documents/about-deloitte/in-about-deloitte-Digital%20Reality%20in%20Defence_Final%20print.pdf
- Unbekannter Autor, «McKinsey Technology Trends Outlook 2022 - Immersive-reality technologies» [McKinsey Technologietrends Ausblick 2022 – Technologien der immersiven Realität], McKinsey and company, Präsentation, 2022, <https://www.mckinsey.com/spContent/bespoke/tech-trends/pdfs/mckinsey-tech-trends-outlook-2022-immersive-reality.pdf>
- Unbekannter Autor, «Immersive Technologies Foresight Paper» [Vorausschauende Analyse zu immersiven Technologien], Digital Regulation Cooperation Forum, Bericht, 2023, https://www.drpf.org.uk/_data/assets/pdf_file/0027/273195/DRCF-Immersive-Technologies-Foresight-Paper.pdf
- Nieuwenhuizen, L. W. et al., «Immersive technologies - Rathenau Scan» [Immersive Technologien - Rathenau Scan], Rathenau Instituut, Bericht, 2023, https://www.rathenau.nl/sites/default/files/2024-01/%28EN%29%20Rathenau%20Instituut%20I%20Scan%20I%20Immersieve%20technologieen%20Final_LM_schoon.pdf



2.3

QUANTENTECHNOLOGIEN

MIT QUANTENPHYSIK BISHER
UNERREICHTE FÄHIGKEITEN ERLANGEN

BESCHREIBUNG:

Quantentechnologien nutzen die Quantenphysik und die damit verbundenen Phänomene auf atomarer und subatomarer Ebene, insbesondere die Quantenverschränkung und -überlagerung. Ingenieurinnen und Ingenieure können nun verschiedene Arten von Geräten entwickeln, die diese Effekte nutzen und die Möglichkeiten bestehender Geräte bei weitem übertreffen. Quantentechnologien werden häufig in drei Hauptbereiche unterteilt: Quantensensorik, Quantenkommunikation und Quantencomputing.

Quantensensorik und -metrologie bezieht sich auf die Fähigkeit, die Quantenmechanik zu nutzen, um höchst präzise Sensoren zu bauen. Eine Kategorie der Sensorik umfasst Sonden, die hochempfindliche Zeit-, Beschleunigungs-, Rotations- oder Schwingungsmessungen sowie Messungen von elektrischen, magnetischen und Gravitationsfeldern durchführen können. Hochpräzise Uhren könnten kommerziell genutzt werden, etwa zur Überprüfung des Hochfrequenzhandels oder zur dynamischen Regulierung eines intelligenten Stromnetzes. Empfindliche Gravimeter könnten für seismographische Vorhersagen von Erdbeben und Vulkanausbrüchen eingesetzt werden. Quantenmagnetometer

könnten in die Biomedizin Einzug halten und beispielsweise die Magnetresonanztomographie verbessern. Verbesserte Beschleunigungsmesser könnten eigenständige Trägheitsnavigationssysteme ermöglichen, die eine präzise Ortung und Navigation über einen langen Zeitraum in Umgebungen erlauben, in denen kein GPS verfügbar ist. Auch ein empfindliches Gravimeter oder Magnetometer könnte für die Ortung und Navigation ohne GPS eingesetzt werden, indem es präzise Messungen der lokalen Felder vornimmt und diese mit bereits vorhandenen Karten der Gravitations- und Magnetanomalien der Erde vergleicht. Eine weitere Kategorie der Sensorik ist die Quantenbildgebung. Zwei der vielversprechendsten Anwendungen sind das sogenannte «Ghost Imaging» und die Quantenbeleuchtung. Das Ghost Imaging nutzt die einzigartigen Quanteneigenschaften des Lichts, um weit entfernte Objekte mit sehr schwachen Beleuchtungsstrahlen zu erkennen. Die Quantenbeleuchtung ist vom Konzept her ähnlich, könnte aber die Empfindlichkeit noch weiter verbessern. Sie kann eine Leistung erzielen, die messbar höher ist als die des theoretisch bestmöglichen Geräts, das nicht auf der Quantenmechanik beruht. Ein mögliches Anwendungsszenario für diese Technologie wäre das Quantenradar. Darüber hinaus verspricht die Technologie des Quanten-Lidars in naher Zukunft ein besseres Signal-Rausch-Verhältnis und

bessere Bilder. Neben der Quantenverschränkung sind dafür hochempfindliche Photonendetektoren und Methoden des maschinellen Lernens erforderlich.

Methoden der **Quantenkommunikation** umfassen Anwendungen, welche die Sicherheit vor Lausangriffen gewährleisten, indem sie sich Quanteneffekte zunutze machen, die ein unbemerktes Abhören physikalisch unmöglich machen. Die quantensichere Kommunikation wird manchmal als «unhackbar» bezeichnet, obwohl technische Feinheiten zu Schwachstellen führen können. Eine langfristige Anwendung der Quantenkommunikation, bekannt als Quanten-Netzwerke (oder teilweise auch als Quanten-Internet), könnte ein äusserst sicheres Kommunikationssystem ermöglichen und verteilte Quantensensorik sowie verteiltes Quantencomputing unterstützen – neben weiteren Anwendungen, die heute nur schwer vorhersehbar sind.

Methoden des **Quantencomputing** könnten theoretisch bestimmte Berechnungen für spezielle Arten von analytischen Problemen (z. B. Optimierung und Simulation) wesentlich schneller durchführen, als dies mit einem herkömmlichen Standardcomputer grundsätzlich möglich ist. Dieser Sprung in der Rechenleistung würde uns beispielsweise in die Lage versetzen, die mathematischen Probleme der klassischen Kryptographie mit öffentlichem Schlüssel effizient zu lösen, was die derzeitigen Verschlüsselungsmethoden möglicherweise (aber nicht notwendigerweise) obsolet machen könnte³. Dies würde ein ernsthaftes Sicherheitsrisiko für alle derzeit verwendeten Verschlüsselungs- und Passwortschutzmethoden darstellen. Andere Anwendungen profitieren von schnelleren Brute-Force-Suchen in grossen Datenbanken sowie von der numerischen Optimierung. Quantencomputing könnte zudem die für die künstliche Intelligenz verwendeten Algorithmen des maschinellen Lernens drastisch verbessern und somit für das maschinelle Lernen eingesetzt werden. Eine letzte, weniger bekannte potenzielle Anwendung des Quantencomputings ist die wissenschaftliche Simulation innovativer Werkstoffe und Biochemie, einschliesslich der Entdeckung von Arzneimitteln. Da quantenmechanische Effekte die zugrunde liegenden physikalischen Zusammenhänge dieser Werkstoffe erklären, sind Computer, welche die Quantenmechanik nutzen, besonders gut geeignet, sie rechnerisch zu simulieren.

Die Leistung und die technischen Schwierigkeiten, die mit einer bestimmten Quantentechnologie einhergehen, werden durch ein einfaches (wenn auch technisches) vereinheitlichendes Mass, bekannt als Quantenverschränkung, quantifiziert. Beim Quantencomputing wird Verschränkung genutzt, um miteinander verbundene Qubits zu erzeugen. Wenn ein Qubit manipuliert wird, dann wirkt sich dies auf die anderen Qubits,

mit denen es «verbunden» ist, aus. Da Quantencomputer aus diesem Grund viele Möglichkeiten gleichzeitig untersuchen können, sind sie in der Lage, komplexe Berechnungen unglaublich schnell durchzuführen. Je dauerhafter die Verschränkung ist, desto höher sind Geschwindigkeit, Betriebsleistung und Komplexität der Realisierung. Die leistungsfähigsten potenziellen Anwendungen der Quantentechnologie erfordern alle eine dauerhafte Verschränkung zwischen mehreren Teilchen.

Anwendungen, die einen geringeren Grad an kontrollierter Verschränkung erfordern, werden daher mit höherer Wahrscheinlichkeit umsetzbar sein. Die meisten Anwendungen der Quantensensorik erfordern nur einen geringen Grad an kontrollierter Verschränkung und gelten daher als am ehesten einsatzbereit. Der Bereich der Quantenkommunikation nimmt hierbei einen mittleren Platz ein, da einige Protokolle die Verschränkung nutzen und andere nicht. Die einfachsten Formen der Quantenkommunikation sind bereits im Einsatz, wohingegen die fortschrittlichsten und nützlichsten Anwendungsmöglichkeiten noch viele Jahre auf sich warten lassen werden. Die Quanteninformatik ist die grösste technologische Herausforderung, da sie ein hohes Mass an Verschränkung erfordert. Einige Nischenanwendungen von Quantencomputern werden derzeit erforscht und könnten in den nächsten Jahren zum Einsatz kommen. Die wichtigsten Anwendungen liegen jedoch noch in weiter Ferne.

Die technologischen Entwicklungen in der Quantentechnologie treiben die oben genannten Quantentechnologien in den relevanten Anwendungsbereichen der Quantenmechanik, des Quantencomputings, der Quantenkommunikation und der Quantensensorik voran. Dieser Trend wird vor allem durch kommerzielle Interessen beflügelt, wobei sicherheitsorientierte Anwendungen zusätzlichen Aufwind durch den geopolitischen Wettbewerb erhalten.

III ³ Kryptographie mit öffentlichen Schlüsseln wird unter anderem für digitale Signaturen, die Erstellung eines geheimen Schlüssels über einen unsicheren Kanal und die Verschlüsselung von Daten verwendet. Kryptographische Verfahren mit symmetrischen Schlüsseln (Geheim Schlüsselkryptographie) sind nur insoweit betroffen, als die Durchsuchung des Schlüsselraums maximal quadratisch beschleunigt wird. Die Verdoppelung der Schlüssellänge gleicht diesen Vorteil aus und macht symmetrische Verfahren quantenresistent.

AUSWIRKUNGEN UND DIE WICHTIGSTEN UNSICHERHEITEN UND HERAUSFORDERUNGEN:

Die nachstehende Tabelle enthält eine Zusammenfassung der Funktionen, die durch Quantentechnologien in der Regel zur Verfügung gestellt werden, sowie der Wirkungskennzahlen, die sich für diese Funktionen voraussichtlich verbessern werden, gefolgt von Beispielanwendungen, die durch solche Verbesserungen möglich würden.

ÜBERGEORDNETE KATEGORIEN DER QUANTENTECHNOLOGIEN	MÖGLICHE ZUKÜNFTIGE VERBESSERUNGEN	MÖGLICHE ANWENDUNGSBEISPIELE
QUANTENSENSORIK	<p>HÖHERE EMPFINDLICHKEIT BEI DER MESSUNG VON:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ZEIT • BESCHLEUNIGUNG • MAGNETFELDERN • ELEKTROMAGNETISCHER STRAHLUNG • ROTATIONEN • SCHWINGUNGEN • PHOTONEN 	<ul style="list-style-type: none"> • TRÄGHEITSNavigations-SYSTEME UND MAGNETOMETRIE-SYSTEME ZUM NAVIGIEREN IN REGIONEN OHNE VERFÜGBARES GPS • VERBESSERTES LIDAR UND RADAR FÜR AUFKLÄRUNGSZWECKE • HOCHFREQUENZDETEKTOREN MIT VOLLEM FREQUENZBEREICH • ERKENNUNG VON TUNNELN UND BUNKERN
QUANTENKOMMUNIKATION	<p>VERWENDUNG DER QUANTENEIGENSCHAFTEN DES LICHTS FÜR:</p> <ul style="list-style-type: none"> • MEHR SICHERHEIT • ERKENNUNG VON LAUSCHANGRIFFEN⁴ 	<ul style="list-style-type: none"> • SICHERE KOMMUNIKATION, DIE SCHWER ABZUFANGEN IST • VERNETZUNG VON QUANTENSENSOREN UND COMPUTERN
QUANTENCOMPUTING	<p>VERBESSERTE RECHENLEISTUNG FÜR SPEZIFISCHE PROBLEME WIE Z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ANGRIFFE AUF DIE HERKÖMMLICHE KRYPTOGRAPHIE MIT ÖFFENTLICHEN SCHLÜSSELN • OPTIMIERUNG • SIMULATIONEN • KLASSIFIZIERUNG • FAKTORISIERUNG 	<ul style="list-style-type: none"> • ENTWICKLUNG VON INNOVATIVEN WERKSTOFFEN • BIOCHEMIE • ARZNEIMITTELENTWICKLUNG • NUMERISCHE OPTIMIERUNG (Z. B. FÜR DIE LOGISTIK) • ÜBERWINDUNG DER HERKÖMMLICHEN KRYPTOGRAPHIE MIT ÖFFENTLICHEN SCHLÜSSELN



⁴ Da es derzeit keine Authentifizierungsmechanismen gibt, deren Sicherheit auf Quanteneigenschaften basiert, erfolgt die Authentifizierung immer noch auf herkömmliche Weise. Wenn also die herkömmliche Authentifizierung überwunden werden kann, sind Lauschangriffen keine Grenzen gesetzt. Die Quantenkommunikation kann daher im Allgemeinen als so sicher angesehen werden wie das schwächste Glied – die herkömmliche Authentifizierung.

Im Anschluss werden die Auswirkungen und die wichtigsten Unsicherheiten und Herausforderungen der Quantentechnologien für die einzelnen Kategorien beleuchtet:

— **IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:**

• **Auswirkungen:** In einigen denkbaren Fällen könnten Quantensensorik und Quantencomputing in bestimmten Szenarien zum Verlust des Vertrauens in den Datenschutz beitragen. Die neuen Möglichkeiten der Quantentechnologien könnten die Lebensqualität deutlich verbessern, beispielsweise indem sie die Eindämmung des Klimawandels, die Entwicklung von Arzneimitteln und die Planung und Entscheidungsfindung im sozialen Bereich unterstützen.

• **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Werden Quantentechnologien wie Sensorik und Ent- bzw. Verschlüsselung insgesamt eher den Datenschutz stärken oder schwächen? Wie stark wird sich dies auswirken?

— **IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:**

• **Auswirkungen:** Die oben ausgeführten Anwendungen werden weitreichende Auswirkungen auf eine Vielzahl von Sektoren haben. Quantentechnische Fernerkundung und -ortung, Navigation und Zeitmessung können im Vergleich zu den heutigen Möglichkeiten dramatische Verbesserungen bieten. Dies könnte beispielsweise für Sicherheits- und Militär Anwendungen (z. B. für die Navigation in Umgebungen ohne verfügbares GPS oder für sehr sensible Aufklärungszwecke) von entscheidender Bedeutung sein. Die Quantenkommunikation könnte eine sicherere Kommunikation ermöglichen, beispielsweise für den sicheren Hochfrequenzhandel. Quantencomputing könnte die herkömmliche Kryptographie mit öffentlichen Schlüsseln überflüssig machen und gleichzeitig eine Quantenverschlüsselung mit höherer Sicherheit gestatten. Jede Anwendung, die sich auf die herkömmliche Verschlüsselung mit öffentlichen Schlüsseln stützt, wäre davon massgeblich betroffen. Die Quantenoptimierung würde die Lösung von bisher unlösbaren Problemen erlauben und könnte beispielsweise komplexe logistische Entscheidungsfindungen unterstützen. Quantensimulationen würden die Simulation von Aspekten der Werkstoffentwicklung, chemischer Reaktionen, des Klimas und des Wetters ermöglichen, die derzeit nur im Labor oder durch Beobachtung untersucht werden können. Dies hätte erhebliche Auswirkungen auf die betroffenen Sektoren.

• **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Sind Quantenanwendungen mit hoher Verschränkung realisierbar? Werden künftig mehr Algorithmen für Quantencomputer entwickelt als die derzeit überschaubare Anzahl?

— **IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:**

• **Auswirkungen:** Die Quantensensorik und -navigation kann in bestimmten Anwendungen wirtschaftliche Vorteile bieten. Allerdings werden diese Technologien wohl überwiegend für militärische und sicherheitstechnische Anwendungen genutzt werden. Nichtsdestoweniger kann die Quantenfernerkundung

die Fülle der durch die Fernerkundung generierten Daten um ein Vielfaches erhöhen und damit erhebliche wirtschaftliche Vorteile bieten. Quantensensoren werden voraussichtlich nicht weniger kosteneffizient sein als ihre nicht-quantenbasierten Äquivalente. Letztere werden für allgemeine Anwendungen weiterhin die Regel sein, wohingegen Quantensensoren für gezieltere Anwendungen wie die oben genannten eingesetzt werden. Die Quantenkommunikation wird erhebliche Vorteile bei der Übertragung von Quanteninformationen zwischen Quantencomputern bieten. Die Quanteninformatik birgt ein erhebliches Gewinnpotenzial, indem sie einen grossen Teil der physikalischen Forschung, z. B. für die Wirkstoff- bzw. die Arzneimittelentwicklung, durch eine neue Klasse präziser Simulationen ersetzt. Neue mit dem Quantencomputing realisierbare Optimierungsmethoden könnten die Abläufe in allen Sektoren drastisch verbessern. Längerfristig könnten Quantencomputer die Fähigkeiten der künstlichen Intelligenz auf eine neue Stufe heben, mit allen damit verbundenen wirtschaftlichen Vorteilen. Die vom Quantencomputing betroffenen Ent- und Verschlüsselungsanwendungen könnten viele Bereiche einschneidend verändern. Es ist jedoch davon auszugehen, dass ein sanfter Übergang zu einer «quanten-immunen» Verschlüsselung stattfinden und diese Auswirkungen minimieren wird.

• **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wie wirtschaftlich sind Quantentechnologien, insbesondere wenn diese eine breitere Anwendung finden und nicht nur in einer begrenzten Anzahl von spezifischen Anwendungsszenarien eingesetzt werden sollen? Wie werden sich die Ent- und Verschlüsselungsfähigkeiten von Quantentechnologien auf die Wirtschaft auswirken?

— **IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:**

• **Auswirkungen:** Ultraempfindliche Quantensensoren sind für umwelt- und klimarelevante Messungen denkbar. Wichtiger noch: Die hoch entwickelten Simulationsfähigkeiten des Quantencomputings können beeindruckende Einblicke in die Klima- und Umweltwissenschaften sowie wesentlich zuverlässigere Wettervorhersagen bieten.

• **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Inwieweit wird der Einsatz von Quantentechnologien die Umwelt beeinflussen? Diese Frage gilt insbesondere für die Energiebilanz des Quantencomputings.

— **IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:**

• **Auswirkungen:** Quantensensorik und -navigation könnten sich als strategisch bedeutsame Fähigkeiten erweisen, unter anderem, weil militärische Mittel nicht mehr «versteckt» werden können. Die Kombination von Quantenkommunikation und Quantencomputing kann sicherere Kommunikations- und Verschlüsselungsmethoden für den Einsatz in Sicherheitsanwendungen bieten. Die Quantenentschlüsselung könnte jedoch auch destabilisierend wirken, wenn Entschlüsselungsfähigkeiten vor den entsprechenden Verschlüsselungsfähigkeiten verfügbar gemacht werden.

• **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:**

Werden Quantentechnologien wie Sensorik und Ent- bzw. Verschlüsselung einen strategisch stabilisierenden oder destabilisierenden Nettoeffekt haben?

SCHWACHE SIGNALE:

- › **Kentucky Fried Chicken** versetzt Mitarbeitende in einen virtuellen Escape Room, in dem sie einen fünfstufigen Hähnchenzubereitungsprozess erfolgreich abschliessen müssen, bevor sie den Raum wieder verlassen können.
- › **Multiverse Computing** arbeitet mit **Oxford Quantum Circuits** und **Moody's Analytics** zusammen, um die Bewertung von Hochwasserrisiken durch Quantentechnologie zu verbessern, und versucht dabei, die Einschränkungen zu überwinden, die aktuellen Methoden aufgrund der Rechenkomplexität gesetzt sind.
- › **Quantagonia** hat einen Cloud-nativen Dienst eingeführt, der die Ausführung von konventionellen und Quantenalgorithmen für künstliche Intelligenz, Simulation und Optimierung erleichtert, die Entwicklung rationalisiert und den Zugang zum Quantencomputing ebnet.
- › Forschende des **Jet Propulsion Laboratory** der NASA haben einen Detektor entwickelt, der einzelne Photonen mit hoher Geschwindigkeit messen kann und die Hochgeschwindigkeits-Quantenkommunikation revolutionieren könnte.
- › **Quantinuum** und **HSBC** kündigten eine Reihe von Sondierungsprojekten an, um die potenziellen kurz- und langfristigen Vorteile des Quantencomputings für das Bankwesen zu nutzen. Schwerpunktmässig sollen die Bereiche Cyber-Sicherheit, Betrugserkennung und Verarbeitung natürlicher Sprache abgedeckt werden.

WECHSELWIRKUNGEN MIT ANDEREN TRENDS:

- › **Data Science und KI:** Die durch Quantensensorik erzeugten Daten könnten als Input für Data Science und künstliche Intelligenz dienen. Mit Hilfe des innovativen Quantencomputings lässt sich eine noch leistungsfähigere künstliche Intelligenz generieren. Umgekehrt könnten Data Science und künstliche Intelligenz bei der Erforschung und Entwicklung von Quantentechnologien eingesetzt werden.
- › **Immersive Technologien:** Quantensensorik und Quantencomputing könnten immersive Technologien verbessern, z. B. indem sie dazu beitragen, eine synthetische Umgebung vollständig realistisch zu gestalten.

› **Robotik und autonome Systeme:** Quantensensoren können beispielsweise für die Navigation autonomer Systeme in Umgebungen ohne verfügbares GPS eingesetzt werden. Quantencomputing kann etwa zur Optimierung des Betriebs grosser Robotiksysteme und autonomer Systeme herangezogen werden.

› **Sensortechnologien:** Die Quantensensorik stellt eine wichtige Klasse neuer Sensorfähigkeiten dar.

› **Neue Raumfahrttechnologien:** Der Weltraum dient häufig als Plattform für die quantentechnische Fernerkundung und die sichere Quantenkommunikation.

› **Neue Werkstoffe und digitale Produktion:** Die Quantensensorik könnte in der Fabrik der Zukunft sinnvoll eingesetzt werden. Quantencomputing kann eine zentrale Rolle bei der Entwicklung neuer Werkstoffe und bei der Produktionsoptimierung durch innovative Quantensimulation und -optimierung spielen.

› **Erneuerbare Energien und Resilienz:** Mit Hilfe von Simulationen durch Quantencomputing lassen sich bisher unlösbare Probleme in den Bereichen Klima, Wettervorhersage und Energiesystembetrieb untersuchen.

› **Human-Enhancement-Technologien:** Die Simulations- und Optimierungsfähigkeiten des Quantencomputings können bei der Entwicklung und dem Betrieb von Human-Enhancement-Technologien genutzt werden.

› **Cyber-Technologien:** Die Infrastruktur für Quantensensorik, -kommunikation und -computing sowie die Kombination dieser drei Bereiche zum «Quanteninternet» könnten in Zukunft einen zentralen Bestandteil der Cyber-Domäne bilden.

› **Digitale Kommunikation:** Die Quantenkommunikation kann in Zukunft Bestandteil der digitalen Kommunikation sein.

WECHSELWIRKUNGEN MIT MEGATRENDS:

› **Veränderung der Arbeitswelt:** Quantentechnologien können eine sicherere Kommunikation und Verschlüsselung bieten, ermöglichen jedoch auch eine hochempfindliche Fernerkundung und potenziell disruptive Entschlüsselungsfunktionen, wengleich der Übergang zu einer quantensicheren Verschlüsselung bereits im Gange ist.

› **Klimawandel und Umweltzerstörung:** Quantencomputing könnte die Klimasimulation revolutionieren und so zur Erforschung und Eindämmung des Klimawandels beitragen.

› **Gesundheit im Wandel:** Quantencomputersimulationen können die Entwicklung neuer Arzneimittel, Werkstoffe und medizinischer Geräte unterstützen.

REFERENZEN UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

- Reding, D.F. et al., «Science & Technology Trends 2020–2040» [Wissenschafts- und Technologietrends 2020–2040], NATO Science & Technology Organisation, Bericht, 2020, https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2020/4/pdf/190422-ST_Tech_Trends_Report_2020-2040.pdf
- Parker, E. et al., «Commercial and Military Applications and Timelines for Quantum Technology» [Kommerzielle und militärische Anwendungen und Zeitpläne für die Quantentechnologie], RAND corp., Bericht, 2021, https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RR1400/RR1482-4/RAND_RRA1482-4.pdf
- Mohr, N. et al., «Quantum Technology Monitor», McKinsey & Co., Bericht, 2023, <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/quantum%20technology%20sees%20record%20investments%20progress%20on%20talent%20gap/quantum-technology-monitor-april-2023.pdf>
- Trendmanager-Tool von Trendone, letzter Zugriff am 21.03.2024, <https://www.trendmanager.com/>

2.4

SENSORTECHNOLOGIEN

MIT DER ERFASSUNG VON DATEN INTELLIGENTERE
ENTSCHEIDUNGEN TREFFEN UND DIE EFFIZIENZ
STEIGERN

BESCHREIBUNG:

Ein **Sensor** bezeichnet in der Regel ein Gerät, das eine physikalische Messung in ein Signal umwandelt, welches von einem Beobachter oder einem Instrument gelesen wird.

Sensoren können eine Vielzahl von Eingaben messen, darunter mechanische, optische, chemische und biologische. Sensoren unterscheiden sich je nach ihrer Schnittstelle zwischen Sensor und Probe bzw. Messgröße:

- **Kontaktensoren** erfordern den direkten Kontakt mit der Eingangsprüfung.
- **Berührungslose Sensoren** gestatten eine indirekte oder Fernabstufung der Probe.
- **Sensoren, die auf Stichproben basieren**, erfordern eine invasive Entnahme des zu analysierenden Objekts.

Sensoren können passiv sein und lediglich auf Eingaben reagieren, oder aktiv mit zusätzlichen Komponenten ausgestattet sein, die mit der Eingabeprobe interagieren, um eine Sensorreaktion zu bewirken.

Moderne Sensoren sind häufig Teil eines integrierten Pakets. Diese intelligenten Sensoren bestehen in der Regel aus einem oder mehreren Sensoren und einer Reihe von integrierten Modulen, beispielsweise für die Energiespeicherung und -gewinnung, die Kommunikation oder die Datenverarbeitung.

Sensortechnologien folgen in der Regel drei allgemeinen Entwicklungspfaden:

- **Verbesserte Messleistung**, etwa hinsichtlich der Genauigkeit⁵, der Empfindlichkeit⁶, der Präzision⁷ oder der Fähigkeit, unter verschiedenen Umgebungsbedingungen zu arbeiten.
- **Miniaturisierung** der Sensoren selbst sowie der angeschlossenen Elektronik im Fall von intelligenten Sensoren.
- **Verteilung, Vernetzung und Konnektivität**, wobei eine zunehmende Anzahl von Sensoren dichter und/oder weiter verteilt und besser vernetzt sein wird.

Nachfolgend wird eine nicht erschöpfende und beispielhafte

⁵ Die maximale Differenz, die zwischen dem Istwert und dem angezeigten Wert am Ausgang des Sensors besteht.

⁶ Die minimale Eingabe von physikalischen Parametern, die eine nachweisbare Änderung der Ausgabe bewirkt.

⁷ Die Reproduzierbarkeit einer Messung: Wenn genau derselbe Wert mehrmals gemessen wird, würde ein idealer Sensor jedes Mal genau denselben Wert ausgeben.

Liste fortschrittlicher Sensortechnologien vorgestellt, die einen oder mehrere der genannten Pfade einschlagen und verschiedene Ansätze verfolgen, um Verbesserungen zu erzielen.

MEMS-Sensoren (Sensoren, die auf mikroelektromechanischen Systemen basieren) haben in den letzten zehn Jahren die meisten Veränderungen hinsichtlich der Grösse und Funktionalität von Sensoren hervorgebracht. Die Verwendung von MEMS-Sensoren in Smartphones bedeutete einen Wendepunkt bei der Produktion von MEMS-Sensoren und beim technologischen Fortschritt. Die MEMS-Revolution hat zu einer erheblichen Verringerung der Grösse, der Kosten und des Stromverbrauchs gängiger Sensoren geführt, was die verfügbaren Sensorformate und -architekturen nachhaltig beeinflusst hat. Heute werden MEMS und die damit verbundenen Technologien in hoch entwickelten Sensorplattformen und Instrumenten eingesetzt, deren Fähigkeiten weit über die menschlichen Sinne und Wahrnehmungen hinausgehen.

Sensoren, die auf Nanotechnologie basieren, können gegenüber herkömmlichen Sensoren erhebliche Vorteile bieten. Dank ihrer einzigartigen Eigenschaften sind Nanomaterialien ideal für die Sensorik geeignet und zeichnen sich durch beeindruckende Leistungen aus. So kann beispielsweise die Empfindlichkeit durch massgeschneiderte Leitungseigenschaften erhöht werden, die Nachweisgrenzen können gesenkt werden, und es können unendlich kleine Probenmengen analysiert werden. An der äussersten Grenze der Nanoskala besteht sogar die Möglichkeit, selbst ein einzelnes Molekül oder Atom nachzuweisen. Darüber hinaus kann die Nanotechnologie zur Herstellung hochgradig miniaturisierter Sensoren genutzt werden. Nanopartikel können beispielsweise als empfindliche biologische Sensoren eingesetzt werden.

Gedruckte und flexible Sensoren beinhalten flexible, dehnbare und allgemein mechanisch anpassbare Sensoren. Sie können mechanischen Verformungen widerstehen, ohne dass ihre Leistung beeinträchtigt oder sie zerstört werden. Flexible Sensoren erlauben Messungen an dynamischen und/oder formveränderlichen Objekten und grossen, unebenen Oberflächen, wo starre Sensoren meist an ihre Grenzen stossen. Flexible Sensoren sind dank der Verwendung von organischen Werkstoffen und/oder dank ihrer Dünnschichttechnologie leicht, was eine bessere Integration, Verteilung und Anwendung ermöglichen kann. Zudem können einige flexible Sensoren mit kostengünstigen Werkstoffen und in Massenverfahren wie dem Druckverfahren hergestellt werden.

Bioinspirierte Sensoren orientieren sich an den grundlegenden Konzepten der Sinnesphysiologie. Sie bewerkstelligen dies entweder durch direkte (eng an die biologischen Funktionen angelehnte) oder analoge (abstraktere) Nachahmung. Als Beispiele hierfür sind chemische Sensoren zu nennen, wel-

che die menschliche Zunge nachahmen, und optische neuro-morphe Sensoren, welche die Morphologie des menschlichen Auges und das neurologische Verhalten bei der Verarbeitung von Seheindrücken imitieren. Zu den Vorteilen dieser Sensoren zählen eine höhere Leistung und ein geringerer Stromverbrauch.

Faseroptische Sensoren verwenden Lichtwellenleiter entweder als Sensorelement (intrinsische Sensoren) oder als Mittel zur Weiterleitung von Signalen an die Verarbeitungselektronik (extrinsische Sensoren). Besonders interessante Eigenschaften sind ihre elektromagnetische Störfestigkeit, geringe Grösse, hohe Empfindlichkeit und ihr geringer Stromverbrauch.

Lab-on-Chip-Sensoren führen verschiedene, oft komplexe und anspruchsvolle Laboroperationen im miniaturisierten Massstab durch. Ihre Grösse kann von wenigen Millimetern bis zu einigen Quadratzentimetern reichen.

Hyperspektrale Fernerkundungssensoren erfassen Bilddaten gleichzeitig in Dutzenden oder Hunderten von schmalen, benachbarten Spektralbändern. Gängige multispektrale Fernerkundungssensoren generieren Bilder in nur wenigen, relativ breiten Wellenlängenbereichen. Diese umfangreichen hyperspektralen Bilddatensätze können mit Feld- oder Labordaten abgeglichen werden, um auf der Erdoberfläche bestimmte Vegetationstypen oder Mineralien, wie sie in Erzlagstätten vorkommen, zu erkennen und zu kartieren.

Smart Dust ist ein Sensorkonzept mit intelligenten Sensoren, die in einem Kubikmillimeter grossen Partikel untergebracht werden können und die Grundlage für integrierte, hochgradig verteilte Sensornetzwerke bilden. Aufgrund seiner geringen Grösse, umfangreichen Funktionalität, Konnektivität und seiner voraussichtlich niedrigen Kosten könnte Smart Dust dazu verwendet werden, mehr Informationen an mehr Orten in einer Weise bereitzustellen, die als weniger intrusiv wahrgenommen wird.

Die künftige Entwicklung dieser Sensortechnologien wird den drei oben genannten Pfaden folgen und im Zuge ihrer Fortschritte immer leistungsfähigere, kleinere und in höherem Masse verteilte und vernetzte Sensoren hervorbringen. Es hängt vom jeweiligen Anwendungsszenario ab, bis zu welchem Grad eine Sensortechnologie eines oder mehrere dieser Kriterien erfüllen muss.

Sensoren spielen in zahlreichen Kernaktivitäten in praktisch jedem Sektor eine zentrale Rolle. Die zunehmenden Leistungs- und Kostenanforderungen dieser Aktivitäten stossen wiederum Fortschritte in der Sensortechnologie an.

AUSWIRKUNGEN UND DIE WICHTIGSTEN UNSICHERHEITEN UND HERAUSFORDERUNGEN:

Die nachstehende Tabelle enthält eine Zusammenfassung der Funktionen, die durch Sensortechnologien in der Regel zur Verfügung gestellt werden, sowie der Wirkungskennzahlen, die sich für diese Funktionen voraussichtlich verbessern werden, gefolgt von Beispielanwendungen, die durch solche Verbesserungen möglich würden.

ÜBERGEORDNETE KATEGORIEN DER SENSORTECHNOLOGIEN	MÖGLICHE ZUKÜNFTIGE VERBESSERUNGEN	MÖGLICHE ANWENDUNGSBEISPIELE
MEMS-SENSOREN	<ul style="list-style-type: none"> • REDUZIERUNG VON GRÖSSE, KOSTEN UND STROMVERBRAUCH 	<ul style="list-style-type: none"> • INDUSTRIEROBOTIK • AUTONOME FAHRZEUGE • MIKROFONE • NAVIGATIONSSENSOREN
SENSOREN, DIE AUF NANOTECHNOLOGIE BASIEREN	<ul style="list-style-type: none"> • HÖHERE SENSOR-LEISTUNG • STÄRKERE MINIATURISIERUNG 	<ul style="list-style-type: none"> • BIOMEDIZINISCHE SENSORIK • HOCHPRÄZISE UMWELTÜBERWACHUNG
QUANTENCOMPUTING GEDRUCKTE UND FLEXIBLE SENSOREN	<ul style="list-style-type: none"> • BESSERE INTEGRATION AUF FLEXIBLEN OBERFLÄCHEN • NIEDRIGERE KOSTEN 	<ul style="list-style-type: none"> • WEARABLES ZUR GESUNDHEITS-ÜBERWACHUNG • INTELLIGENTE VERPACKUNG • DEHNUNGSMESSSTREIFEN
BIOINSPIRIERTE SENSOREN	<ul style="list-style-type: none"> • HÖHERE LEISTUNG • GERINGERER STROMVERBRAUCH 	<ul style="list-style-type: none"> • OPTISCHE HOCHFREQUENZ-SENSORIK MIT GERINGEM STROMVERBRAUCH FÜR SCHNELLE ROBOTIK • «KÜNSTLICHE NASEN» FÜR DIE ABFALLSORTIERUNG
FASEROPTISCHE SENSOREN	<ul style="list-style-type: none"> • GERINGERER STROMVERBRAUCH • HÖHERE SENSOR-LEISTUNG • ELEKTRO-MAGNETISCHE STÖRFESTIGKEIT 	<ul style="list-style-type: none"> • ZUSTANDSÜBERWACHUNG VON GEBÄUDEN • ÜBERWACHUNG DER QUALITÄT VON TELEKOMMUNIKATIONSSIGNALEN • AKUSTISCHE SENSOREN FÜR DIE AUSSENÜBERWACHUNG
LAB-ON-CHIP-SENSOREN	<ul style="list-style-type: none"> • INTEGRATION KOMPLEXER LABORFUNKTIONEN AUF MINIATURISIERTEN CHIPS 	<ul style="list-style-type: none"> • FERNGESTEUERTE MEDIZINISCHE TESTS UND DIAGNOSEN • MINIKITS FÜR KLINISCHE CHEMIE
HYPERSPEKTRALE FERN-ERKUNDUNGSSENSOREN	<ul style="list-style-type: none"> • NEUARTIGE SENSORFÄHIGKEITEN 	<ul style="list-style-type: none"> • LAGERSTÄTTENEXPLORATION VON MINERALIEN • PRÄZISIONSLANDWIRTSCHAFT
SMART DUST	<ul style="list-style-type: none"> • STÄRKERE MINIATURISIERUNG • GERINGERER STROMVERBRAUCH • HÖHERE VERTEILUNGSDICHTE UND MEHR KONNEKTIVITÄT 	<ul style="list-style-type: none"> • SICHERHEITS UND VERTEIDIGUNGS- RELEVANTE ÜBERWACHUNG • KATASTROPHENÜBERWACHUNG • DIGITALER ZWILLING DER UMGEBUNG, GEFECHTSFELD DARSTELLUNG

Im Anschluss werden die Auswirkungen und die wichtigsten Unsicherheiten und Herausforderungen der Sensortechnologien für die einzelnen Kategorien beleuchtet:

— **IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Sensoren können Technologie personalisieren, indem sie in zahlreiche Alltagsgegenstände, Unterhaltungselektronik und tragbare Geräte eingebaut werden. Sensoren erhöhen die Sicherheit in allen Bereichen des täglichen Lebens, ob bei Freizeitaktivitäten, beim Autofahren oder bei der Arbeit im industriellen Bereich. Nicht zuletzt ermöglichen Sensoren es Wissenschaftlern, Umgebungen, Materialien, biologische Systeme und sogar das Universum selbst detaillierter als je zuvor zu untersuchen.

- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Inwieweit wird die Gesellschaft den flächendeckenden Einsatz von Sensoren akzeptieren und welche ethischen Aspekte ergeben sich daraus? Wie sind Bedenken hinsichtlich Datenschutz, Dateneigentum und Überwachung zu begegnen?

— **IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Sensoren können aufgrund ihrer Leistungsfähigkeit, Miniaturisierung und Konnektivität in zahlreichen Sektoren eine enorme Wirkung erzielen. Ein Beispiel ist die Automobilindustrie. Moderne Fahrzeuge sind vollgepackt mit Sensoren für Sicherheit und Leistung. Sensoren haben auch die Möglichkeiten der modernen Unterhaltungselektronik revolutioniert und sind für die Überwachung und Steuerung industrieller Prozesse unverzichtbar geworden. Die Entwicklung kostengünstiger Mikrosensoren hat das Internet der Dinge ermöglicht, das die Konnektivität und den Austausch von Daten zwischen Milliarden von Objekten und Geräten erlaubt.

- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wie werden sich Sensorleistung und Miniaturisierung weiterentwickeln? Wie werden sich die sekundären Funktionen intelligenter Sensoren (Stromversorgung, Kommunikation, Datenverarbeitung) entwickeln? Wird es möglich sein, neuartige Sensortechnologien in grossem Massstab zu produzieren und einzusetzen?

— **IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Die durch Sensoren ermöglichte Automatisierung und Prozessoptimierung kann die Geschwindigkeit, Präzision und Effizienz in der Fertigungstechnik, im Gesundheitswesen, in der Landwirtschaft und in anderen Bereichen steigern. Dies wiederum erhöht die Produktivität und somit das wirtschaftliche Potenzial. Die von solchen Sensoren gesammelten Mengen wertvoller Daten können auch in eine «Datenwirtschaft» eingespeist werden und somit für die zahlreichen daran beteiligten Interessengruppen einen Mehrwert schaffen.

- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:**

Wird die Nachfrage nach bestimmten Arten von Sensoren ausreichend hoch sein? Welche neuen datenbasierten Geschäftsmodelle könnten auf der Grundlage neuartiger Sensoren entstehen?

— **IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Umweltsensoren können Luft- und Wasserqualität, Verschmutzungsgrade, Treibhausgase und andere Umweltparameter kontinuierlich überwachen.

- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wie wird sich die Energie- und Ressourceneffizienz von Sensoren weiterentwickeln? Wie werden Ökosysteme durch den Einsatz und die Entsorgung von Sensoren belastet (z. B. Verschmutzung)?

— **IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Der vermehrte Einsatz von Sensoren könnte sich bei der Überwachung der Einhaltung von nationalen und internationalen Gesetzen und Vorschriften als nützlich erweisen.

- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wie können Fragen zu Dateneigentum, Einwilligung und verantwortungsvoller Nutzung behandelt werden? Wie sollte der Schutz der von Sensortechnologien erfassten personenbezogenen Daten reguliert werden? Wie würden sich geopolitische Spannungen auf den Technologie- und Ressourcenbedarf für die weitere Entwicklung von Sensortechnologien auswirken?

SCHWACHE SIGNALE:

- › Forschende der **University of Chicago** [Universität von Chicago], des **US-Energieministeriums** und der **University of Wisconsin-Milwaukee** [Universität von Wisconsin-Milwaukee] haben eine Methode zur Massenproduktion von Graphen-basierten Sensoren entwickelt, die Blei, Quecksilber und E. coli im Wasser nachweisen.

- › Forschende der **Penn State University** [Pennsylvania State Universität] haben eine elektronische Zunge entwickelt, die Graphen-basierte Chemitransistoren als Geschmackssensoren verwendet, um Gasmoleküle und Moleküle bestimmter Chemikalien zu erkennen.

- › Forschende der **Kaunas University of Technology** [Kaunas Universität für Technologie] haben gravimetrische Sensoren zum Nachweis von Treibhausgasen wie Kohlendioxid und Methan entwickelt, die eine höhere Empfindlichkeit und einen geringeren Energieverbrauch als elektrochemische Sensoren aufweisen.

- › Das kanadische Unternehmen für Weltraumdaten **Wyvern** beabsichtigt die Lancierung eines Satellitenprogramms, das Landwirten mit Hilfe von Hyperspektralbildern hochauflösende Echtzeitdaten über Bodenfeuchtigkeit, Pflanzenwachstum und wetterbedingte Schäden liefert.

WECHSELWIRKUNGEN MIT ANDEREN TRENDS:

- › **Data Science und KI:** Eine wachsende Zahl von Sensoren mit höherer Leistung und Verbreitung könnte in Zukunft eine Fülle von Daten liefern, die für Data Science und KI relevant sind.
- › **Immersive Technologien:** Bestimmte Arten von Sensoren, wie z. B. flexible Sensoren oder MEMS, sind Schlüsselkomponenten für immersive Technologien.
- › **Quantentechnologien:** Die Quantensensorik wird in verschiedenen Sensortechnologien, vornehmlich in der Photonik, eingesetzt.
- › **Neue Raumfahrttechnologien:** Bestimmte Sensoren werden auf Raumfahrzeugen montiert, entweder als Nutzlast (z. B. Hyperspektralbildgeber) oder zur Unterstützung des Raumfahrzeugbetriebs (z. B. MEMS-Beschleunigungsmesser).
- › **Neue Werkstoffe und digitale Produktion:** Sensoren gehören zu den zentralen Komponenten digitaler Produktionsansätze.
- › **Erneuerbare Energien und Resilienz:** Miniaturisierte, vernetzte und leistungsfähige Sensoren könnten künftig bei der Umweltüberwachung eine wichtige Rolle spielen.
- › **Human-Enhancement-Technologien:** Sensortechnologien (z. B. flexible biometrische Sensoren) spielen eine grosse Rolle bei Human-Enhancement-Technologien.
- › **Cyber-Technologien:** Künftige Netzwerke intelligenter Sensoren könnten einen wichtigen Teil des Cyberspace ausmachen.
- › **Digitale Kommunikation:** Künftige Netzwerke intelligenter Sensoren werden verschiedene Konnektivitätstechnologien nutzen, wie z. B. 5G.

- › **Robotik und autonome Systeme:** Sensoren könnten auf Robotern montiert werden, entweder als Nutzlast (z. B. Hyperspektralbildgeber) oder zur Betriebsunterstützung (z. B. MEMS-Beschleunigungsmesser).

WECHSELWIRKUNGEN MIT MEGATRENDS:

- › **Zunehmende Ressourcenknappheit:** Sensortechnologien können bei der Suche und Identifizierung von knappen Ressourcen oder Mineralien helfen.
- › **Sicherheitsverständnis im Wandel:** Sensortechnologien können für Überwachungs- oder Verteidigungsanwendungen eingesetzt werden.
- › **Fortschreitende Urbanisierung:** Sensortechnologien liefern Daten für zahlreiche Smart-City-Anwendungen.
- › **Klimawandel und Umweltzerstörung:** Sensortechnologien können für wichtige Anwendungen in der Umweltüberwachung eingesetzt werden (z. B. Smart Dust).
- › **Gesundheit im Wandel:** Sensortechnologien können in medizinischen Anwendungen eine bedeutende Rolle spielen, beispielsweise in Form von flexiblen Wearable-Sensoren oder Nanosensoren für die Biosensorik und die Nanomedizin.

REFERENZEN UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

- McGrath, M. et al., «Sensor technologies – Healthcare, wellness and environmental applications» [Sensortechnologien – Anwendungen in den Bereichen Gesundheitswesen, Wellness und Umwelt], Apress Open, Buch, 2013, <https://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/28153/1001841.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Webster, J. et al., «The measurement, instrumentation, and sensors handbook» [Handbuch für Messungen, Instrumente und Sensoren], CRC Press/IEEE Press, Buch, 1999, <http://materias.df.uba.ar/l2aa2020c1/files/2012/07/Measurement-Instrumentation-Sensors.pdf>
- Pilkington, B., «Developing Cost-Effective Sensors for Mass Markets: The Issues» [Entwicklung kostengünstiger Sensoren für Massenmärkte: Die Probleme], AZO Sensors, Leitartikel, 2023, <https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=2807>
- Unbekannter Autor, «The Future of Sensors - Protecting worker health through sensor technologies» [Die Zukunft der Sensoren – Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz durch Sensortechnologien], AIHA, Bericht, 2016, https://aiha-assets.sfo2.digitaloceanspaces.com/AIHA/resources/Get-Involved/AIHA_Future-of-Sensors_web_updated.pdf
- Mendez, A. et al., «Overview of fibre optic sensors for NDT applications» [Übersicht über faseroptische Sensoren für NDT-Anwendungen], IV NDT Panamerikanische Konferenz, Buenos Aires, 2007, <https://www.ndt.net/article/panndt2007/papers/96.pdf>
- Smith, R., «Introduction to hyperspectral imaging» [Einführung in die hyperspektrale Bildgebung], MicrolImages Inc, Bericht, 2012, <https://www.microimages.com/documentation/Tutorials/hyprspec.pdf>
- Kalantar-Zadeh, K. et al., «Nanotechnology-enabled sensors» [Nanotechnologie-Sensoren], Springer Publishing, Buch, 2008, <https://link.springer.com/book/10.1007/978-0-387-68023-1>
- Unbekannter Autor, «Lab on a chip» [Labor auf einem Chip], Rohini College of Engineering and Technology, Broschüre, https://www.rcet.org.in/uploads/academics/rohini_54133274564.pdf
- «Smart dust: communicating with a cubic-millimeter computer» [Smart Dust: Kommunikation mit einem Kubikmillimeter-Computer], Computer, Januar 2001, S. 44-51, Bd. 34, 2001, <https://resenv.media.mit.edu/classarchive/MAS961/readings/SmartDust.pdf>
- Trendmanager-Tool von Trendone, letzter Zugriff am 21.03.2024, <https://www.trendmanager.com/>

2.5

NEUE RAUMFAHRTTECHNOLOGIEN

DER WETTLAUF INS ALL 2.0 – DER NÄCHSTE GROSSE SPRUNG FÜR DIE MENSCHHEIT

BESCHREIBUNG:

Der **Weltraum** beginnt nach allgemeiner Auffassung 90-100 km (die Kármán-Linie) über dem Meeresspiegel. Raumfahrttechnologien nutzen die einzigartige Betriebsumgebung des Weltraums aus. Dazu gehören die Handlungsfreiheit, das globale Sichtfeld, die Geschwindigkeit und der freie Zugang. Raumfahrttechnologien müssen jedoch auch mit der einzigartigen Betriebsumgebung des Weltraums zurechtkommen. Dazu gehören das Quasi-Vakuum, die Mikrogravitation, die Isolation und extreme Umgebungen (Temperatur, Schwingungen und Schall beim Start, Druck).

In **naher Zukunft** (mehrere Jahre bis zu einem Jahrzehnt) könnten Fortschritte in der Raumfahrttechnologie bahnbrechende Anwendungen in vielen Bereichen auf der Erde möglich machen. Beispiele hierfür sind:

- Ortung, Navigation und Zeitmessung zur Unterstützung autonomer Fahrzeuge.
- **Erdbeobachtungssysteme**, die Echtzeit-Daten für die moderne Landwirtschaft liefern.
- **Satellitenkonstellationen**, die **Konnektivität** bieten, um das Internet der Dinge zu ermöglichen.

Langfristig (in den nächsten Jahrzehnten) könnte die Infrastruktur bereitgestellt werden, um die nachhaltige Präsenz der Menschheit im Weltraum zu ermöglichen. Dies würde beinhalten:

- Die **Rohstoffgewinnung im All** könnte zur Versorgung einer weltraumgestützten Wirtschaft oder für den Transport zur Erde genutzt werden.
- Die **weltraumgestützte Fertigung** könnte die Bedingungen im Weltraum nutzen, z. B. die Mikrogravitation, um hoch entwickelte Produkte, die auf der Erde nur schwer hergestellt werden können, oder auch gängige Produkte für die Verwendung im Weltraum zu fertigen.

Es könnte ein komplexes weltraumgestütztes Ökosystem mit hoher Einwohnerzahl entstehen, das verschiedene Satelliten, Habitate, Forschungseinrichtungen, Betankungsstationen im Orbit und Fabriken umfasst.

Auf noch längere Sicht(innerhalb dieses Jahrhunderts) könnten es solche Infrastrukturen und Ökosysteme der **Menschheit erlauben, den Weltraum wirklich zu besiedeln, in ihm zu expandieren** und auf der Erde für Wohlstand zu sorgen.

Raumfahrtanwendungen werden durch bahnbrechende Veränderungen, bedingt durch technologische und andere Faktoren, zunehmend möglich. Zu diesen Faktoren zählen sinkende Startkosten und ein zunehmend einfacher Zugang

zum Weltraum. Hinzu kommen Fortschritte bei der Miniaturisierung, Standardisierung und Produktion in einem Massstab, der den Einsatz von Megakonstellationen und Schwärmen ermöglicht, sowie autonome Systeme und Robotik zur Erleichterung des Betriebs und der Nutzung dieser innovativen Raumfahrtssysteme und nicht zuletzt die Einführung von Technologien aus angrenzenden Bereichen (künstliche Intelligenz, fortschrittliche Fertigung, Quantenkommunikation usw.).

AUSWIRKUNGEN UND DIE WICHTIGSTEN UNSICHERHEITEN UND HERAUSFORDERUNGEN:

Die nachstehende Tabelle enthält eine Zusammenfassung der Funktionen, die durch neue Raumfahrttechnologien in der Regel zur Verfügung gestellt werden, sowie der Wirkungskennzahlen, die sich für diese Funktionen voraussichtlich verbessern werden, gefolgt von Beispielanwendungen, die durch solche Verbesserungen möglich würden.

ÜBERGEORDNETE KATEGORIEN DER NEUEN RAUMFAHRTTECHNOLOGIEN	MÖGLICHE ZUKÜNFTIGE VERBESSERUNGEN	MÖGLICHE ANWENDUNGSBEISPIELE
ORTUNG, NAVIGATION UND ZEITMESSUNG	<ul style="list-style-type: none"> • HÖHERE NAVIGATIONS-GENAUIGKEIT • HÖHERE SERVICE-VERFÜGBARKEIT 	<ul style="list-style-type: none"> • PRÄZISIONSLANDWIRTSCHAFT • INTERNET DER DINGE IN DER INDUSTRIE
ERDBEOBACHTUNG	<ul style="list-style-type: none"> • ERHÖHTE RÄUMLICHE, ZEITLICHE UND SPEKTRALE AUFLÖSUNG VON DATEN • BESSERE ERKENNTNISGEWINNUNG AUS DATEN • HÖHERE DATEN-VERFÜGBARKEIT 	<ul style="list-style-type: none"> • ECHTZEITÜBERWACHUNG VON AKTIVITÄTEN DER WIRTSCHAFT UND INDUSTRIE • PRÄDIKTIVE MODELLE
KOMMUNIKATION	<ul style="list-style-type: none"> • HÖHERE VERFÜGBARKEIT • GÜNSTIGER IM PREIS • MEHR SICHERHEIT 	<ul style="list-style-type: none"> • GLOBALES INTERNET • «UNKNACKBARE» QUANTEN-KOMMUNIKATION FÜR FINANZANWENDUNGEN
RESSOURCEN UND FERTIGUNG	<ul style="list-style-type: none"> • FÄHIGKEIT, IM WELTRAUM RESSOURCEN ZU GEWINNEN UND PRODUKTE FÜR DIE VERWENDUNG IM WELTRAUM ODER FÜR DEN TRANSPORT ZUR ERDE HERZUSTELLEN 	<ul style="list-style-type: none"> • ASTEROIDENBERGBAU ZUR GEWINNUNG WICHTIGER METALLE • SOLARENERGIE AUS DEM WELTRAUM ZUR ENERGIEVERSORGUNG DER ERDE • HERSTELLUNG VON ELEKTRONISCHEN KOMPONENTEN IN MIKROGRAVITATION
RESSOURCEN UND FERTIGUNG ERKUNDUNG UND BESIEDLUNG	<ul style="list-style-type: none"> • (SEMI-)PERMANENTE BESIEDLUNG DES WELTRAUMS 	<ul style="list-style-type: none"> • HOTELS IM ORBIT • MONDBASEN

Im Anschluss werden die Auswirkungen und die wichtigsten Unsicherheiten und Herausforderungen der neuen Raumfahrttechnologien für die einzelnen Kategorien beleuchtet:

— **IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Der Weltraum kann zum Schauplatz menschlicher Expansion und kultureller Aktivitäten werden, vom Weltraumtourismus in naher Zukunft bis hin zur dauerhaften Besiedlung des Weltraums in weiterer Zukunft.
- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wird es jemals eine ausreichende «Nachfrage» geben, die über die praktischen Anwendungen der Raumfahrt hinausreicht?

— **IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Jede Technologie, die von den oben genannten Funktionen abhängt, ist davon betroffen. Leistungsverbesserungen in der Ortung, Navigation und Zeitmessung werden unter anderem die Präzisionslandwirtschaft und das Internet der Dinge in der Industrie möglich machen. Die räumliche und zeitliche Auflösung von Erdbeobachtungsdaten sowie ihre Verfügbarkeit werden sich verbessern. Dies wird, in Verbindung mit den Ansätzen der künstlichen Intelligenz zur Nutzung dieser Daten, zu vielen Anwendungen führen, die auf Geodaten basieren, von der Landwirtschaft über die Eindämmung des Klimawandels bis hin zur Wettervorhersage. Diese Kombination kann sogar die Erstellung von Vorhersagemodellen ermöglichen. Kommunikationskonstellationen werden eine tatsächlich globale, permanente und erschwingliche Konnektivität bereitstellen. Diese Entwicklung wird dem globalen Zugang zu bezahlbarem Internet und dem industriellen Internet der Dinge den Weg ebnen. In der Kombination mit Quantentechnologien könnte dies eine «unknackbare» Kommunikation ermöglichen, z. B. für Finanzanwendungen.
- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Werden die erforderlichen Raumfahrttechnologien jemals ausreichend wettbewerbsfähig sein, um diese Anwendungen zu ermöglichen, insbesondere im Vergleich zu den erdgebundenen Alternativen?

— **IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Verbesserte Raumfahrtleistungen, wie die oben genannten, werden sich in hohem Masse positiv auf die Wirtschaft auswirken, indem sie bestimmte Wirtschaftszweige auf der Erde, wie Landwirtschaft, Bergbau, Fertigung und Finanzwesen, verbessern. Raumfahrtleistungen können auch dazu beitragen, die Auswirkungen des Klimawandels und somit deren wirtschaftlichen Schaden zu begrenzen. Längerfristig könnte der Weltraum für die zahlreichen beteiligten Interessengruppen zu einem neuen wirtschaftlichen Aktivitätsfeld werden. Es könnten beispielsweise weltraumgestützte Ressourcen genutzt oder sogar der erdnahe Raum und andere Himmelskörper besiedelt werden.

• **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:**

Werden weltraumgestützte Anwendungsszenarien jemals finanziell wettbewerbsfähig werden, insbesondere im Vergleich zu den erdgebundenen Alternativen? Wie wichtig werden neue Raumfahrtunternehmen, sogenannte «New Space»-Unternehmen, und Start-ups werden, und werden traditionelle Raumfahrtunternehmen, also «Old Space»-Unternehmen, an Bedeutung verlieren (oder wenigstens ihre Stellung behaupten)?

— **IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Verbesserte Erdbeobachtungsmöglichkeiten, wie oben beschrieben, können ein Instrument zur Überwachung und Abschwächung der Auswirkungen des Klimawandels sein.
- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Inwieweit werden sich neue Raumfahrtaktivitäten auf die Umwelt auswirken (z. B. Triebwerksabgase auf die obere Atmosphäre)?

— **IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Verbesserte Erdbeobachtungsmöglichkeiten, wie oben beschrieben, können ein Instrument sein, um die Einhaltung verschiedener Gesetze und Vorschriften zu gewährleisten. Der Weltraum könnte in einem zunehmend umkämpften geopolitischen Umfeld zu einem Konfliktherd werden.
- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wird der Weltraum ein relativ stabiler und friedlicher Bereich bleiben oder wird er zum Schauplatz von Konflikten? Wie werden sich zunehmende Konflikte im Weltraum auf die zivile Raumfahrt auswirken? Werden Aspekte der Weltraumnutzung, z. B. Weltraumschrott, jemals angemessen reguliert werden?

SCHWACHE SIGNALE:

- › **Prada** und **Axiom Space** entwerfen einen Raumanzug.
- › **Varda Space Industries** plant die Entwicklung einer Produktionsplattform im Weltraum, um Halbleiter, Pharmazeutika und Glasfasern herzustellen.
- › **SpaceData Inc.** setzt KI-Methoden ein, um mithilfe von Satellitendaten einen digitalen Zwilling der Erde zu erstellen.
- › **NASA** hat 3D-gedruckte Komponenten für Raketentriebwerke erfolgreich getestet.

WECHSELWIRKUNGEN MIT ANDEREN TRENDS:

- › **Data Science und KI:** Daten aus dem Weltraum (Erdbeobachtung, Geodaten) können als Input für Algorithmen des maschinellen Lernens verwendet werden, z. B. für die Bildanalyse oder für Vorhersagezwecke.
- › **Immersive Technologien:** Immersive Technologien können in vielen Bereichen der Produktionskette der Raumfahrt von Nutzen sein, z. B. bei der Planung oder Ausbildung.
- › **Quantentechnologien:** Der Weltraum ist die Plattform für die Quantenkommunikation der Zukunft und wird daher für sie unverzichtbar sein.
- › **Sensortechnologien:** Der Weltraum bietet eine Plattform für neue und fortschrittliche Sensoren. Der einfachere Zugang zum Weltraum wird den Einsatz solcher fortschrittlichen Sensoren erleichtern.
- › **Neue Werkstoffe und digitale Produktion:** Weltraumanwendungen können von neuen Werkstoffen profitieren. Die Weltraumforschung kann der Schlüssel zur Entwicklung neuer Werkstoffe sein. Die Weltraumkommunikation kann das Internet der Dinge in der Industrie voranbringen. Die digitale Produktion kann die Kosten für Aktivitäten im Weltraum senken.
- › **Erneuerbare Energien und Resilienz:** Weltraumgestützte Solarenergie ist eine «Science-Fiction»-Lösung für die Energieversorgung aus dem Weltraum. Der Weltraum spielt eine entscheidende Rolle bei der Gestaltung von Klimapolitik.
- › **Human-Enhancement-Technologien:** Human-Enhancement-Technologien, also Technologien zur Verbesserung der menschlichen Fähigkeiten, könnten die Erkundung des Weltraums ermöglichen.
- › **Cyber-Technologien:** Weltraumplattformen sind Teil der Cyber-Domäne.
- › **Digitale Kommunikation:** Der Weltraum ist eine wichtige Plattform für die digitale Kommunikation.

- › **Robotik und autonome Systeme:** Autonomie kann den Weg für zahlreiche Raumfahrtanwendungen bereiten. Weltraumtechnologie kann die Robotik auf der Erde voranbringen, z. B. durch das Internet der Dinge in der Industrie.

WECHSELWIRKUNGEN MIT MEGATRENDS:

- › **Klimawandel und Umweltzerstörung:** Die Raumfahrt ist für klimarelevante Erdbeobachtungsaktivitäten von entscheidender Bedeutung. In einer sehr fernen Zukunft könnte die Menschheit ins All umsiedeln, wenn die Erde unbewohnbar geworden ist.
- › **Zunehmende Ressourcenknappheit:** Weltraumgestützte Ressourcen, wie etwa seltene Mineralien und weltraumgestützte Solarenergie, könnten Abhilfe für den Ressourcenmangel auf der Erde schaffen und die Dringlichkeit, dem Klimawandel entgegenzuwirken, entschärfen.
- › **Sicherheitsverständnis im Wandel:** Der Weltraum könnte zum Schauplatz von Konflikten zwischen den Nationen werden.
- › **Wachsender Einfluss von Ost und Süd:** Geopolitische Spannungen und der Wettlauf um die Erforschung und Ausbeutung des Weltraums könnten zunehmen.

REFERENZEN UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

- Reding, D.F. et al., «Science & Technology Trends 2020-2040» [Wissenschafts- und Technologietrends 2020–2040], NATO Science & Technology Organisation, Bericht, 2020, https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2020/4/pdf/190422-ST_Tech_Trends_Report_2020-2040.pdf
- Black, J. et al., «Future uses of space out to 2050» [Zukünftige Nutzung des Weltraums bis 2050], RAND Corp. 2022, https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RR600/RR609-1/RAND_RRA609-1.pdf
- Trendmanager-Tool von Trendone, letzter Zugriff am 21.03.2024, <https://www.trendmanager.com/>

2.6

NEUE WERKSTOFFE UND DIGITALE PRODUKTION

TRANSFORMATION DER
FERTIGUNG

BESCHREIBUNG:

Fortschrittliche (neuartige) Werkstoffe sind künstliche Materialien mit einzigartigen und neuartigen Eigenschaften. Diese Werkstoffe können wünschenswerte Eigenschaften aufweisen, darunter extreme Hitzebeständigkeit, hohe Festigkeit, Energiegewinnung und -speicherung, Supraleitfähigkeit, eingebettete Sensorik und andere exotische Eigenschaften wie Tarnkappeneigenschaften, Selbstanpassung und Selbstheilung. **Digitale Fertigung**, oft auch als Industrie 4.0 bezeichnet, bedeutet die Digitalisierung der gesamten Wertschöpfungskette in der Fertigung, um ein beispielloses Mass an Überwachung, Steuerung und Optimierung in Echtzeit zu erreichen. Dieser Grad der Digitalisierung reicht weit über die Produktion hinaus und bezieht auch das gesamte Ökosystem von Partnern, Zulieferern und Endbenutzerinnen und -benutzern mit ein. Das Ziel besteht darin, Daten zu sammeln und auszutauschen, die zur Optimierung von Planungs- und Fertigungsprozessen, Betriebsabläufen und zur Unterstützung über den gesamten Lebenszyklus hinweg genutzt werden können.

«Neue Werkstoffe» lassen sich in folgende Kategorien einteilen: Metalle (hart, dehnbar, thermisch und elektrisch leitfähig, z. B. Kupfer, Hochentropie-Legierungen und Formgedächtnislegierungen), Polymere (sehr variabel, oft weich und flexibel, z. B. zahlreiche Kunststoffe), Keramiken (hart, spröde, korrosionsbeständig, elektrisch nicht leitend, z. B. Beton, Porzellan) und Verbundwerkstoffe (aus zwei oder mehr Bestandteilen, die zu einem Werkstoff verbunden werden, dessen Eigenschaften sich von denen der einzelnen Elemente unterscheiden). Eine weitere «exotische» Kategorie sind Quantenmaterialien. Hierbei handelt es sich um einen Oberbegriff für Materialien mit interessanten bzw. nützlichen Quanteneigenschaften, die sich aus elektronischen Wechselwirkungen auf atomarer und subatomarer Ebene ergeben. Innovative Werkstoffe dieser Kategorien werden eingesetzt, um die Leistung in verschiedenen Aspekten zu verbessern, wie zum Beispiel den folgenden:

- **Gewicht:** Leichte Metalllegierungen wie Aluminium- und Titanlegierungen sowie Verbundwerkstoffe wie Glasfaser- und Kohlefaserverbundwerkstoffe werden entwickelt, um das Gewicht zu verringern und gleichzeitig die Festigkeit zu erhalten oder zu verbessern.

- **Festigkeit und Beständigkeit:** Werkstoffe wie Kohlefaser und Hochleistungskeramik werden entwickelt, um herkömmliche Werkstoffe in Bezug auf Festigkeit und Beständigkeit zu übertreffen.
- **Stabilität und Wirksamkeit:** Durch Stabilität kann ein Werkstoff seine ursprünglichen Merkmale und Eigenschaften während der gesamten Dauer seiner vorgesehenen Verwendung beibehalten. Wirksamkeit hingegen bezeichnet die Fähigkeit, ein gewünschtes oder beabsichtigtes Ergebnis zu erzielen, z. B. bei der Verabreichung von Arzneimitteln.
- **Selbstheilungs- und Nachahmungsfähigkeit:** Selbstheilende Werkstoffe können Schäden, die sie erleiden, automatisch und selbstständig reparieren. Elektronische Haut kann die sensorischen Fähigkeiten der menschlichen Haut nachahmen.
- **Verarbeitung:** Innovative Materialien wie Graphen, Nanodrähte und Quantenpunkte können die Leistung elektronischer Geräte verbessern, indem sie die Geschwindigkeit und Speicherkapazität erhöhen und den Stromverbrauch senken.

Dank der Fortschritte in der Werkstofftechnologie werden die Verbesserungen dieser und anderer Eigenschaften uns immer mehr beeindrucken, und es werden möglicherweise Eigenschaften erreicht, die den Gesetzen der Natur nicht mehr zu gehorchen scheinen. Mit Metamaterialien könnten zum Beispiel elektromagnetische Eigenschaften erreicht werden, die in der Natur nicht vorkommen, wie ein negativer Brechungsindex oder eine elektromagnetische Tarnung. Nanomaterialien könnten einzigartige optische, elektronische, thermo-physikalische und mechanische Eigenschaften in sich vereinen.

Der Beschaffungsprozess eines Produkts wird häufig gemäss dem CADMID-Zyklus unterteilt, der sich aus sechs Phasen zusammensetzt: Konzeptphase, Bewertungsphase, Demonstrationsphase, Realisierungsphase, Nutzungsphase und Verwertungsphase.

Die digitale Produktion zielt darauf ab, immer mehr Elemente dieser Kette zu digitalisieren, einschliesslich der Produktion und des gesamten Ökosystems aus Partnern, Lieferanten, Endbenutzerinnen und -benutzern. Ziel ist es, Daten zu sammeln und auszutauschen, die zur Optimierung von Plänen, Fertigungsprozessen und Betriebsabläufen sowie für eine verbesserte Unterstützung über den gesamten Lebenszyklus hinweg genutzt werden können. Von jedem neuen Produkt könnte ein «digitaler Zwilling» erstellt werden, der in allen Phasen des CADMID-Zyklus kontinuierlich mithilfe von Echtweltdaten aktualisiert wird. Diese Daten würden für

die Erstellung von Echtzeit-Updates für Industriemaschinen verwendet werden, mit denen die Effizienz von Fertigungsprozessen verbessert und Prognosemodelle gespeist werden, um so die Produktleistung zu simulieren. Auf diese Weise könnten die aus dem laufenden Betrieb gewonnenen Erkenntnisse genutzt werden, um der Instandhaltung und dem Kundendienst Informationen zu liefern, die auf Prognosemodellen und nicht auf den mittleren Ausfallzeiten basieren. Im Gegenzug könnten reale Daten über die Leistung von Systemen und Teilsystemen in den Planungsprozess zurückfliessen.

Die Additive Fertigung (3D-Druck) ist ein neuartiges Fertigungsverfahren, das im Mittelpunkt der digitalen Produktion steht. Bei diesem Verfahren werden aus digitalen Modellen und verschiedensten Metallen, Kunststoffen und Harzen dreidimensionale feste Objekte in einer praktisch unbegrenzten Formvielfalt erstellt. Nacheinander werden Materialschichten in verschiedenen Formen und mitunter auch in unterschiedlichen Materialzusammensetzungen aufgetragen. Das Verfahren kann für das Rapid Prototyping, die Produktion vor Ort und Reparaturen sowie für die Herstellung von Präzisionsteilen, kundenspezifischen Anfertigungen und Einzelanfertigungen oder für hochkomplexe Formen verwendet werden, wodurch sich die Anzahl der in Systemen benötigten Teile reduzieren lässt.

Mit dem Fortschreiten dieses Trends wird ein immer grösserer Teil der Wertschöpfungskette digitalisiert, woraus sich zunehmende Vorteile aus dieser Digitalisierung ergeben. Digitale Produktion ist ein Oberbegriff, der die meisten der in AnticipaTech untersuchten Technologietrends einschliesst. Mehr und mehr dieser relevanten Grundlagentechnologien werden zur Reife gebracht und künftig für die digitale Produktion eingesetzt. Je nach Art des Sektors wird die Umsetzung unterschiedlich schnell und auf unterschiedlichen Ebenen erfolgen.

Rasche technologische Fortschritte in diversen Bereichen der Werkstoffforschung und -entwicklung beflügeln die Entwicklung neuer Werkstofftechnologien. Die Fortschritte in der digitalen Produktion werden durch Entwicklungen in vielen Grundlagenbereichen vorangetrieben, beispielsweise durch die zunehmende Verfügbarkeit von Daten und Konnektivität, Analytik, Mensch-Maschine-Interaktion und Verbesserungen in der Robotik. Eine weitere treibende Kraft sind die Synergieeffekte der Integrationsbemühungen in Unternehmen, die bereits stattfinden und nicht unbedingt technologisch begründet sind.

AUSWIRKUNGEN UND DIE WICHTIGSTEN UNSICHERHEITEN UND HERAUSFORDERUNGEN:

In der folgenden Tabelle fassen wir zusammen, welche Funktionen im Allgemeinen durch die Verwendung neuer Werkstoffe und digitaler Produktion möglich sind und welche ihrer Wirkungskennzahlen sich voraussichtlich verbessern werden. Zudem nennen wir einige Beispielanwendungen, die durch diese Verbesserungen realisierbar wären.

ÜBERGEORDNETE KATEGORIEN NEUER WERKSTOFFE UND DIGITALER PRODUKTION	MÖGLICHE ZUKÜNFTIGE VERBESSERUNGEN	MÖGLICHE ANWENDUNGSBEISPIELE
NEUE WERKSTOFFE	VERBESSERUNGEN Z. B. BEI: <ul style="list-style-type: none"> • GEWICHT • LEITFÄHIGKEIT • WÄRMEBESTÄNDIGKEIT UND FESTIGKEIT • NANOMATERIALIEN • WERKSTOFFE MIT SELBSTHEILUNGS UND NACHAHMUNGSFÄHIGKEIT • «EXOTISCHE» EIGENSCHAFTEN 	<ul style="list-style-type: none"> • LEICHTBAUWERKSTOFFE MIT HOHER FESTIGKEIT • RAUMTEMPERATUR-SUPRALEITER • TARNBESCHICHTUNGEN • BAUSTOFFE FÜR GERINGERE CO₂-EMISSIONEN
DIGITALE PRODUKTION	VORTEILE IN DER GESAMTEN WERTSCHÖPFUNGSKETTE, U. A.: <ul style="list-style-type: none"> • NIEDRIGERE BETRIEBSKOSTEN • HÖHERE EFFIZIENZ, WENIGER ABFALL • HÖHERE ANPASSUNGSFÄHIGKEIT VON DESIGNS • HÖHERE ANPASSUNGSFÄHIGKEIT VON WERKSTOFFEIGENSCHAFTEN 	<ul style="list-style-type: none"> • INTEGRIERTE WERTSCHÖPFUNGSKETTE VOM KONZEPT BIS ZUR PRODUKTION, DIE FÜR EINE BREITERE PALETTE VON PRODUKTEN UND SEKTOREN GENUTZT WERDEN KANN

Im Anschluss werden die Auswirkungen und die wichtigsten Unsicherheiten und Herausforderungen von neuen Werkstoffen und digitaler Produktion für die einzelnen Kategorien beleuchtet:

— **IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Bestimmte neue Werkstoffe könnten neue Gesundheitsgefahren mit sich bringen. Die digitale Produktion würde das verarbeitende Gewerbe transformieren und sich auf soziale Aspekte von Arbeitsplätzen in diesem Sektor und in angrenzenden Sektoren auswirken. Neuartige Fähigkeiten, wie z. B. die bedarfsgerechte Anpassung eines Produkts, könnten die Art und Weise, wie Produkte hergestellt und konsumiert werden, verändern.

- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wie wird sich der Übergang zur digitalen Produktion auf die Nachfrage nach qualifizierten Arbeitskräften auswirken? Wirken sich bestimmte Werkstoffe negativ auf die Gesundheit aus?

— **IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Neue Werkstoffe und die digitale Produktion könnten grosse Auswirkungen auf eine Vielzahl von Sektoren haben. Die weitreichenden Verbesserungen, die mit neuen Werkstoffen einhergehen, können zahlreiche Anwendungen in verschiedenen Sektoren ermöglichen. Beispiele hierfür wären der Energiesektor mit Kohlefaserverbundwerkstoffen für Windkraftanlagen, die Elektronik mit dem Einzug von Supraleitern, die bei nahezu Raumtemperatur funktionieren, oder das Gesundheitswesen mit neuen Systemen zur Arzneimittelverabreichung. Die digitale Produktion wird jeden Schritt in der Fertigungsindustrie von Grund auf verändern und sich somit auf die Herstellung aller Arten von Produkten auswirken, von miniaturisierter Alltags elektronik bis hin zu komplexen Luft- und Raumfahrzeugen.

- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Werden bestimmte wichtige neue Werkstoffe in grossem Massstab produziert werden können? Wie können die technischen Herausforderungen der digitalen Produktion überwunden werden, wie z. B. Einschränkungen hinsichtlich Produktgrösse, Präzision und Qualität sowie der potenzielle Bedarf an Nachbearbeitung?

— **IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Neue Werkstoffe und die digitale Produktion werden wirtschaftlich enorm an Bedeutung gewinnen. Neue Werkstoffe werden die Qualität und Leistung einer Vielzahl von Produkten und Dienstleistungen und damit ihren wirtschaftlichen Wert erhöhen. Methoden der digitalen Produktion haben das Potenzial, die Produktionseffizienz entlang der gesamten Wertschöpfungskette in praktisch jedem Sektor zu steigern, und können erhebliche wirtschaftliche Auswirkungen haben.

- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Inwieweit wird die digitale Produktion trotz ihrer hohen Vorlaufkosten akzeptiert werden? Welche Sektoren werden sich eher für digitale Produktionsmethoden eignen? Welche Teile der Wertschöpfungskette können effizienter digitalisiert werden? Werden bestimmte neue Werkstoffe wirtschaftlich tragfähig sein?

— **IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Sowohl neue Werkstoffe als auch digitale Produktionsmethoden zielen darauf ab, die Effizienz bei der Herstellung und Nutzung eines Produkts zu erhöhen. Sie können somit wesentlich zur Verbesserung der Umwelt- und Klimabilanz der Produktion beitragen. Neue Baustoffe könnten bei der Herstellung weniger CO₂ ausstossen oder sogar CO₂ absorbieren. Bestimmte neue Werkstoffe könnten neue Umweltgefahren mit sich bringen.

- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wie wird sich die Ressourcen- und Energieeffizienz in der Herstellung neuer Werkstoffe entwickeln? Bergen die neuen Werkstoffe neue Umweltgefahren?

— IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:

- **Auswirkungen:** Neue Werkstoffe können sich positiv oder negativ auf den Ressourcenbedarf auswirken. Neue Produktionsmethoden und die damit einhergehende Vernetzung und Integration könnten neue Vorschriften und Gesetze erforderlich machen.
- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wie werden die wahrgenommenen Risiken im Zusammenhang mit Cyber- und Datensicherheit sowie geistigem Eigentum die Einführung der digitalen Produktion beeinflussen? Wie sollte die Produktion neuer Werkstoffe reguliert werden, um negative Auswirkungen auf Gesundheit und Umwelt zu verringern?

SCHWACHE SIGNALE:

- › Forschende der **UC San Diego** [Universität von Kalifornien - San Diego] haben ein nicht-invasives neuronales Implantat mit Graphenelektroden entwickelt, mit dem von der Oberfläche des Gehirns aus die Aktivität des Tiefenhirns überwacht werden kann.
- › Forschende des **Argonne National Laboratory** haben einen Temperaturrekord für Supraleiter aufgestellt und Supraleitung bei minus 23 Grad Celsius unter hohem Druck nachgewiesen.
- › **Siemens** und **Nvidia** entwickeln derzeit ein «Industrielles Metaverse», das digitale Zwillinge und IoT-Anwendungen ermöglicht.
- › Forschende der **University of Michigan** [Universität von Michigan] setzen ein spezielles 3D-Druckverfahren ein, mit dem dünne, gebogene und belastbare Betonwände hergestellt werden, welche die Verwendung von Recyclingmaterialien ermöglichen und somit die Umweltbelastung verringern.

WECHSELWIRKUNGEN MIT ANDEREN TRENDS:

- › **Data Science und KI:** KI kann bei der Entwicklung neuer Werkstoffe sowie bei der Planung und dem Betrieb digitaler Produktionsanlagen eingesetzt werden. Die Data Science ist für letztere von zentraler Bedeutung.
- › **Immersive Technologien:** Immersive Technologien werden eine Schlüsselrolle bei der Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine in der digitalen Produktion spielen.
- › **Robotik und autonome Systeme:** Roboter und autonome

Systeme sind unverzichtbare Technologien für die digitale Produktion. Neue Werkstoffe können für zukünftige Roboter nützlich sein.

- › **Sensortechnologien:** Verteilte Sensorik in der gesamten Wertschöpfungskette, vor allem aber in den Produktionsanlagen, wird für die digitale Produktion von zentraler Bedeutung sein.
- › **Neue Raumfahrttechnologien:** Der Weltraum ist eine Plattform für die wichtigsten Ortungs-, Navigations- und Zeitmessungsfunktionen, die für die digitale Produktion erforderlich sind.
- › **Quantentechnologien:** Fähigkeiten der Quantentechnologie wie Optimierung und Simulation könnten die Herstellung neuer Werkstoffe sowie die umfassende Optimierung der digitalen Produktion ermöglichen und erheblich verbessern.
- › **Erneuerbare Energien und Resilienz:** Neue Werkstoffe und die digitale Produktion können die Umwelt- und Klimaauswirkungen zahlreicher Sektoren erheblich abschwächen.
- › **Human-Enhancement-Technologien:** Es wären neue Werkstoffe erforderlich, beispielsweise biokompatible Erweiterungen und Implantate für den Menschen.
- › **Cyber-Technologien:** Die digitale Produktion wird in der Cyber-Domäne eine wichtige Rolle spielen.
- › **Digitale Kommunikation:** Digitale Kommunikationskonzepte wie 5G werden zu den wichtigsten Technologien zählen, die für die digitale Produktion benötigt werden.

WECHSELWIRKUNGEN MIT MEGATRENDS:

- › **Zunehmende Ressourcenknappheit:** Neue Werkstoffe und die digitale Produktion können die Ressourcenknappheit durch Effizienzsteigerungen abfedern.
- › **Veränderung der Arbeitswelt:** Neue digitale Produktionsansätze in der gesamten Wertschöpfungskette könnten die Arbeitswelt einschneidend verändern.
- › **Sicherheitsverständnis im Wandel:** Fortschritte bei Metamaterialien, insbesondere bei elektromagnetischen Beschichtungen, können neue Sicherheitsrisiken mit sich bringen, wie z. B. Tarntechnologie und innovative Stealth-Technologie.
- › **Wachsender Konsum:** Neue Werkstoffe und Produktionsmöglichkeiten könnten zu mehr Effizienz bei der Herstellung und Verwendung zahlreicher neuer Produkte beitragen.
- › **Gesundheit im Wandel:** Exotische Eigenschaften neuer Werkstoffe können für neue medizinische Geräte, die Behandlung von Krankheiten, die Arzneimittelentwicklung und die Nanomedizin genutzt werden.

REFERENZEN UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

- Reding, D.F. et al., «Science & Technology Trends 2020-2040» [Wissenschafts- und Technologietrends 2020–2040], NATO Science & Technology Organisation, Bericht, 2020, https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2020/4/pdf/190422-ST_Tech_Trends_Report_2020-2040.pdf
- Ladetto, Q., «Defence future technologies - Emerging technology trends 2015» [Verteidigungstechnologien der Zukunft – Neue Technologietrends 2015], Armasuisse, Bericht, 2015, https://deftech.ch/wp-content/uploads/2018/07/DefenceFutureTechnologies_EmergingTechnologyTrends2015.compressed.pdf
- Burnett, M. et al., «Advanced Materials and Manufacturing – Implications for Defence to 2040» [Innovative Werkstoffe und Fertigung – Auswirkungen auf die Verteidigung bis 2040], Defence Science and Technology Group, Report, 2018, <https://www.dst.defence.gov.au/sites/default/files/events/documents/DST-Group-GD-1022.pdf>
- Unbekannter Autor, «What is digital manufacturing? (a definitive guide)» [Was ist digitale Fertigung? (ein umfassender Leitfaden)], TWI Global, Website, letzter Zugriff am 21.03.2024, <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-digital-manufacturing>
- Black, J. et al., «Future uses of space out to 2050» [Zukünftige Nutzung des Weltraums bis 2050], RAND Corp. 2022, https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RR600/RR609-1/RAND_RRA609-1.pdf
- Unbekannter Autor, «Industry 4.0» [Industrie 4.0], BCG, Website, letzter Zugriff am 21.03.2024, <https://www.bcg.com/capabilities/manufacturing/industry-4-0>
- Yankovitz, D. et al., «The future of materials» [Die Zukunft der Werkstoffe], Deloitte Insights, Artikel, 2023, <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/oil-and-gas/the-future-of-materials.html>
- Unbekannter Autor, «Classes of Materials» [Werkstoffklassen], Universität von Cambridge, Website, letzter Zugriff am 21.03.2024, <https://www.doitpoms.ac.uk/tjplib/artefact/classes.php>
- Broholm, C., «Basic research needs for quantum materials» [Grundlagenforschung zu Quantenmaterialien], US-Energieministerium, Technischer Bericht, 2016, <https://www.osti.gov/servlets/purl/1616509>
- Trendmanager-Tool von Trendone, letzter Zugriff am 21.03.2024, <https://www.trendmanager.com/>

2.7

ERNEUERBARE ENERGIEN UND RESILIENZ

FÜR EINE SAUBERE
UND NACHHALTIGE ZUKUNFT

BESCHREIBUNG:

Erneuerbare Energie ist Energie, die aus natürlichen Quellen stammt, die sich schneller erneuern, als sie verbraucht werden. Im Gegensatz zu Energie aus fossilen Brennstoffen verursachen erneuerbare Energien über ihren Lebenszyklus hinweg nur sehr geringe Treibhausgasemissionen, wie z. B. Kohlendioxid. Erneuerbare Energiequellen hängen im Allgemeinen von Energieflüssen im Ökosystem der Erde ab, wie zum Beispiel von der Sonneneinstrahlung und der geothermischen Energie der Erde. **Resilienz** in Energiesystemen wird als Fähigkeit definiert, Bedrohungen standzuhalten. Dies gilt für natürliche Bedrohungen (z. B. Dürren, Erdbeben, Überschwemmungen und Stürme, Sturmfluten, Orkane, Eisstürme, Tornados, Tsunamis) ebenso wie für menschengemachte Bedrohungen (z. B. Cyber-Angriffe, physische Angriffe, absichtliche elektromagnetische Impulse und schwerwiegende Betriebsfehler).

Zu den **erneuerbaren Energiequellen** gehören **Solarenergie** (z. B. direkte Wärmezeugung, Photovoltaik), **Windkraft**, **Wasserkraft** (Staudämme), **Meeresenergie** (z. B. Wellene-

nergie, Strömungsenergie), Geothermie und Biomasse. Kernspaltungsanlagen gelten in der Regel nicht als erneuerbar, da das Spaltmaterial von nicht erneuerbaren Quellen abhängt und das Problem des Atommülls besteht. Längerfristige Lösungen umfassen futuristische Methoden der Energieerzeugung, wie **Kernfusion** (Verschmelzung leichter Atomkerne zu schwereren, wobei enorme Energiemengen freigesetzt werden) und **weltraumgestützte Solarenergie** (Sammlung von Sonnenenergie im Weltraum, die dann an Bodenstationen auf der Erde übertragen wird).

Erneuerbare Energiequellen können erhebliche Vorteile hinsichtlich ihrer Resilienz bieten, wie z. B.:

- **Geringe Abhängigkeit von der Brennstoffversorgung** und geringe Anfälligkeit für schwankende Preise oder unerwartete Änderungen der Brennstoffverfügbarkeit.
- Abhängigkeit von natürlich vorkommenden, kostenlosen und sich selbst erneuernden Energiequellen wie Sonnenlicht und Wind.
- **Kleinere, dezentrale Stromerzeugung**, die möglicherweise in deutlich kleineren Einheiten eingesetzt werden könnte als herkömmliche Stromerzeugungsmethoden.

- **Schnell einsatzfähig** im Vergleich zur herkömmlichen Energieerzeugung mit fossilen Brennstoffen oder Kernenergie. Erneuerbare Energiequellen haben auch potenzielle Nachteile hinsichtlich ihrer Resilienz, wie z. B.:
- Die ihnen innewohnende **Schwankungsanfälligkeit der Energieversorgung** ist ein Hindernis für den Einsatz erneuerbarer Energien als Grundversorgung in einem Energiesystem. Es werden leistungsstarke Lösungen zur Energiespeicherung benötigt, die jedoch technisch noch nicht ausgereift sind.
- Viele erneuerbare Energieträger benötigen für ihre Erzeugung **endliche Vorräte bestimmter Schlüsselemente**, wie zum Beispiel seltene Erden, die für die Herstellung von Photovoltaikanlagen erforderlich sind.
- Ihre **Resilienz** ist **durch den Klimawandel besonders gefährdet**, da dieser zu noch extremeren Wetterereignissen führen und mehr Stromausfälle verursachen kann. Die Integration erneuerbarer Energien könnte Stromversorgungssysteme daher bis zu einem gewissen Grad unsicherer machen.

Das Ziel, die Auswirkungen des Klimawandels einzudämmen, ist die wichtigste Triebkraft für den Übergang zu einer emissionsarmen oder emissionsfreien Wirtschaft, wie sie derzeit von vielen Regierungen angestrebt wird. Der Plan der Europäischen Kommission für den Übergang zu einer Wirtschaft mit Netto-Null-Treibhausgasemissionen bis 2050 bietet einen klar formulierten Fahrplan, der in diesem Bericht als Beispiel herangezogen wird¹⁰.

Die Vision der Europäischen Kommission umfasst sieben wichtige strategische Bausteine:

1. Maximierung der Energieeffizienz, einschliesslich emissionsfreier Gebäude
2. Maximierung des Einsatzes erneuerbarer Energien und der Nutzung von Elektrizität zur vollständigen Dekarbonisierung der europäischen Energieversorgung
3. Saubere, sichere und vernetzte Mobilität

4. Nutzung der Kreislaufwirtschaft als Schlüssel zur Verringerung der Treibhausgasemissionen
 5. Entwicklung intelligenter Netzinfrastrukturen und Schnittstellen
 6. Nutzung von Bioökonomie und Schaffung notwendiger Kohlendioxidsenken
 7. Entwicklung und Einführung von Technologien zur Abscheidung und Speicherung von CO₂ (CCS), um überschüssiges Kohlendioxid aus der Atmosphäre zu entfernen
- Mit diesen Massnahmen hat die EU ihre Ziele für 2020 erreicht. Die für Energieeffizienz und erneuerbare Energien bis zum Jahr 2030 gesetzten neuen Ziele sollten es der EU ermöglichen, ihre Emissionen um etwa 45% zu senken, wenn sie vollständig umgesetzt werden. All dies geschieht mit dem Ziel, bis 2050 eine emissionsfreie Wirtschaft zu erreichen.

Es ist denkbar, dass ab dem Jahr 2050 futuristische Lösungen wie Fusionsenergie und weltraumgestützte Solarenergie zusätzliche alternative Quellen für saubere Energie werden und weitere Vorteile wie eine geringere Landnutzung mit sich bringen.

Der Klimawandel ist der massgebliche Faktor für den Bedarf an erneuerbaren Energien. Nur wenn es gelingt, den globalen Temperaturanstieg auf 1,5 °C zu begrenzen, könnte die Welt einige der schlimmsten Auswirkungen des Klimawandels vermeiden. Dieser Grenzwert wird in der Regel als Kipppunkt betrachtet, unterhalb dessen einige der schlimmsten Klimafolgen des Klimawandels vermieden und die Wahrscheinlichkeit extremer Wetterereignisse verringert werden könnten. Die Resilienz emissionsarmer Energiesysteme ist ein weiterer wichtiger Faktor. Technologische Fortschritte haben in den vergangenen zehn Jahren die erneuerbaren Energiequellen sehr wettbewerbsfähig gemacht. So sind beispielsweise die Kosten für Photovoltaik und Windturbinen drastisch gesunken und die Effizienz gestiegen.

¹⁰ Der Schweizer Bundesrat hat im August 2019 beschlossen, dass die Schweiz bis 2050 eine Netto-Null-Treibhausgasemission anstrebt. Das Netto-Null-Ziel ist somit in der Schweiz gesetzlich verankert (Link: <https://www.fedlex.admin.ch/eli/fga/2022/2403/de>)

AUSWIRKUNGEN UND DIE WICHTIGSTEN UNSICHERHEITEN UND HERAUSFORDERUNGEN:

In der nachstehenden Tabelle fassen wir zusammen, welche Funktionen in der Regel durch erneuerbare Energien erfüllt werden, welche Wirkungskennzahlen für diese Funktionen durch den Einsatz erneuerbarer Energien voraussichtlich verbessert werden und welche Beispielanwendungen diese Verbesserungen ermöglichen würden.

ÜBERGEORDNETE KATEGORIEN VON ERNEUERBAREN ENERGIEN UND RESILIENZ	MÖGLICHE ZUKÜNFTIGE VERBESSERUNGEN	MÖGLICHE ANWENDUNGSBEISPIELE
ENERGIEERZEUGUNG	<ul style="list-style-type: none"> • HÖHERER ANTEIL ERNEUERBARER ENERGIEN AM ENERGIEMIX • HÖHERE RESILIENZ GEGENÜBER WIRTSCHAFTLICHEN UND STRATEGISCHEN AUSWIRKUNGEN • VERMINDERTE RESILIENZ GEGENÜBER KLIMAAUSWIRKUNGEN 	<ul style="list-style-type: none"> • EMISSIONSARME BIS EMISSIONSFREIE ENERGIEERZEUGUNG
ENERGIEVERTEILUNG UND -STEUERUNG	<ul style="list-style-type: none"> • VERRINGERTE NUTZUNG FOSSILER BRENNSTOFFE • VERSTÄRKTE NUTZUNG VON ERNEUERBAREN ENERGIETRÄGERN • VERBESSERTE METHODEN DES NETZMANAGEMENTS • HÖHERE RESILIENZ GEGENÜBER STÖRUNGEN 	<ul style="list-style-type: none"> • ELEKTROMOBILITÄT • INTELLIGENTES ENERGIENETZ • ERNEUERBARE ENERGIEN ALS GRUNDVERSORGUNG
ENERGIENUTZUNG	<ul style="list-style-type: none"> • EFFIZIENTERE NUTZUNG 	<ul style="list-style-type: none"> • HOCHEFFIZIENTES HEIZEN DURCH GEOTHERMIE • HOCHEFFIZIENTE ELEKTRONIK • ELEKTROMOBILITÄT

Im Anschluss werden die Auswirkungen und die wichtigsten Unsicherheiten und Herausforderungen der erneuerbaren Energiesysteme für die einzelnen Kategorien beleuchtet:

— IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:

• **Auswirkungen:** Erneuerbare Energien und ihre Vorteile für die Energieresilienz werden erhebliche positive soziale Auswirkungen haben. Durch die Abschwächung der extremsten Auswirkungen des Klimawandels können die Lebensqualität und Lebenserwartung einer grossen Anzahl von Menschen erheblich verbessert werden. Die positiven

Auswirkungen auf Beschäftigung und Arbeitsplatzqualität werden diese Effekte noch verstärken. Andererseits können die Begleiterscheinungen erneuerbarer Energien, wie z. B. eine verstärkte Landnutzung, zu Verwerfungen in lokalen und landwirtschaftlichen Gemeinschaften führen.

• **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wird die Nutzung erneuerbarer Energiequellen mangels gesellschaftlicher Akzeptanz gebremst werden? Wie wird sich der Übergang zu einem erneuerbaren Energiesystem auf den Arbeitsmarkt auswirken? Erfolgt die Umstellung auf erneuerbare Energiesysteme Hand in Hand mit den Belangen der sozialen Gerechtigkeit?

— IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:

- **Auswirkungen:** Der Übergang zu erneuerbaren Energiesystemen wird in einigen Schlüsselsektoren grundlegende Veränderungen nach sich ziehen. Dazu zählen beispielsweise die Dekarbonisierung und Elektrifizierung des Verkehrs, des verarbeitenden Gewerbes und anderer Sektoren.

- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Werden sich die etablierten Technologien für erneuerbare Energien (Solar- und Windkraft) weiterhin in demselben beeindruckenden Tempo entwickeln? Wie werden sich andere erneuerbare Technologien entwickeln und werden sie im Vergleich zu den etablierten Technologien wettbewerbsfähig sein? Welche Rolle werden langfristige Technologien wie die Kernfusion spielen? Welche Rolle werden Fortschritte bei nicht erneuerbaren, nicht-fossilen Energiequellen spielen, beispielsweise bei der modernen Kernspaltung? Wie wird sich die Technologie auf der Energie-Nachfrageseite (z. B. im Verkehr) entwickeln?

— IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:

- **Auswirkungen:** Kurzfristig könnte der Preis für erneuerbare Energieträger im Vergleich zum Preis für fossile Energieträger steigen, mit den entsprechenden Folgewirkungen auf die Wirtschaft. Erneuerbare Energiequellen werden von Jahr zu Jahr wettbewerbsfähiger und werden fossile Brennstoffe in wirtschaftlicher Hinsicht langfristig wohl einholen oder übertreffen. Schätzungen zufolge wird sich die Umstellung auf erneuerbare Energien positiv auf die Wirtschaft auswirken und das Beschäftigungswachstum fördern. Langfristig wird die Umstellung auf ein sauberes Energiesystem allein schon durch die Vermeidung von klimawandelbedingten Schäden Vorteile mit sich bringen. Hinzu kommen weitere positive Auswirkungen wie etwa eine bessere Luftqualität. Es ist anzunehmen, dass im Laufe dieses Übergangs die Emissionen vom Wirtschaftswachstum entkoppelt werden und neue Industrien, Arbeitsplätze und technische Innovationen entstehen.

- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wie wird sich der Übergang zu erneuerbaren Energiesystemen auf die Wirtschaft auswirken? Ist eine Umstellung auf erneuerbare Energiesysteme finanzierbar?

— IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:

- **Auswirkungen:** Die Auswirkungen der erneuerbaren Energien auf die Umwelt werden immens sein, da sie die Folgen des Klimawandels abmildern und so schwerwiegende negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt verhindern. Der erhöhte Flächenbedarf für erneuerbare Energiequellen und/oder der Abbau der für ihre Herstellung erforderlichen Elemente könnte die Umwelt jedoch bis zu einem gewissen Grad belasten.

- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wird die Klimareaktion auf emissionsreduzierte Energiesysteme ausreichen, um die festgelegten Ziele zur Begrenzung des Temperaturanstiegs zu erreichen? Inwieweit werden erneuerbare Energiequellen die Umwelt beeinflussen, beispielsweise in Bezug auf Flächennutzung und Rohstoffgewinnung? Welche Auswirkungen wird der Klimawandel auf die Einführung und den Betrieb erneuerbarer Energiesysteme haben?

— IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:

- **Auswirkungen:** Energiesicherheit war in der Vergangenheit einer der Hauptgründe für geopolitische Konflikte. Mit der Umstellung auf erneuerbare Energien könnte sich diese Situation entspannen, und einzelne Länder könnten Energieautarkie und -resilienz erreichen. Es könnten neue Konflikte im Zusammenhang mit den zentralen Ressourcen entstehen, wie etwa seltenen Erden, die für die Hardware neuer erneuerbarer Energiesysteme erforderlich sind.

- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wie wird sich der Übergang zu erneuerbaren Energiesystemen auf die globale Geopolitik auswirken? Welche Gesetze und Bestimmungen werden die Verbreitung erneuerbarer Energiesysteme vorantreiben?

SCHWACHE SIGNALE:

- › Forschende der US-amerikanischen Forschungseinrichtung **Lawrence Livermore National Laboratory** erreichten einen Break-even-Punkt, indem sie in einer Fusionsreaktion mehr Energie erzeugten, als zur Zündung benötigt wurde. Damit wurde ein wichtiger Meilenstein für die Kernfusion erreicht.

- › **Greenlytics**, ein schwedisches Start-up, integriert KI, Meteorologie und Datenanalyse, um die Stromerzeugung und -nachfrage vorherzusagen und dadurch fortschrittliche, effiziente Methoden für die Energieverteilung und -steuerung zu ermöglichen.

- › Indien und das Vereinigte Königreich arbeiten derzeit gemeinsam an der Schaffung eines globalen Solarnetzes, das sich über 140 Länder erstrecken soll, um Solarstromerzeuger effizient mit Verbrauchern zu verbinden und den Bedarf an umfangreicher Energiespeicherung zu reduzieren.

WECHSELWIRKUNGEN MIT ANDEREN TRENDS:

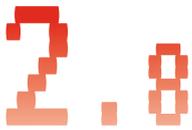
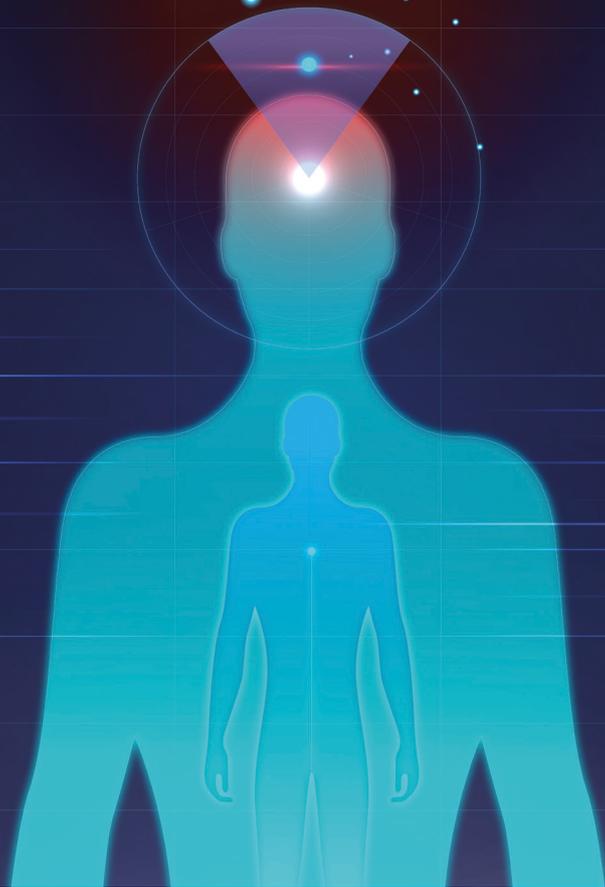
- › **Data Science und KI:** KI und datenbasierte Methoden können intelligente Methoden für die effiziente Steuerung von Energieerzeugung, -verteilung und -verbrauch bieten.
- › **Immersive Technologien:** Immersive Technologien könnten verbesserte Methoden für die Ausbildung und Schulung von Fachkräften in den Bereichen erneuerbare Energietechnologien, Design und Visualisierung der Energieinfrastrukturplanung sowie für die Fernüberwachung und -wartung erneuerbarer Energiesysteme bieten.
- › **Quantentechnologien:** Quantencomputing könnte eine Methode zur Lösung bisher unlösbarer Probleme in der Meteorologie, Klimaforschung und energiebezogenen Entscheidungsfindung bieten.
- › **Sensortechnologien:** Verteilte, allgegenwärtige, miniaturisierte und kostengünstige Sensoren werden eine zentrale Rolle in erneuerbaren Energiesystemen spielen.
- › **Neue Werkstoffe und digitale Produktion:** Neue Werkstoffe und Produktionsmethoden können die Effizienz von Energieerzeugung, -verteilung und -verbrauch steigern.
- › **Neue Raumfahrttechnologien:** Weltraumgestützte Daten können zur Optimierung des Energiemanagements beitragen.
- › **Human-Enhancement-Technologien:** Keine.
- › **Cyber-Technologien:** Neuartige Systeme für erneuerbare Energieträger werden in der Cyber-Domäne eine Rolle spielen.
- › **Digitale Kommunikation:** Digitale Kommunikation kann eine wesentliche Komponente erneuerbarer Energiesysteme sein – in allen Bereichen der Erzeugung, der Verteilung und des Verbrauchs.
- › **Robotik und autonome Systeme:** Robotik und autonome Systeme können in allen Phasen des Lebenszyklus erneuerbarer Energiesysteme hilfreich sein – von der Produktion über das Management bis hin zur Wartung.

WECHSELWIRKUNGEN MIT MEGATRENDS:

- › **Zunehmende Ressourcenknappheit und wachsender Konsum:** Erneuerbare Energien werden einige Ressourcen (z. B. fossile Brennstoffe) weniger knapp machen, können jedoch die Knappheit anderer Ressourcen (z. B. seltene Erden) verschärfen.
- › **Klimawandel und Umweltzerstörung:** Erneuerbare Energien werden bei der Bewältigung des Klimawandels und der Umweltzerstörung eine Schlüsselrolle spielen.
- › **Sicherheitsverständnis im Wandel:** Erneuerbare Energien werden insgesamt einen eher positiven Einfluss auf internationale Konflikte haben, indem sie den Bedarf an Ressourcen verringern und die Energieresilienz erhöhen.
- › **Fortschreitende Urbanisierung:** Erneuerbare Energien werden den wachsenden Bedarf an sauberer Energie für die Städte decken.
- › **Gesundheit im Wandel:** Erneuerbare Energien werden einen äusserst positiven Beitrag zur Bewältigung gesundheitlicher Herausforderungen im Zusammenhang mit dem Klimawandel und der Umweltzerstörung leisten.

REFERENZEN UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

- Unbekannter Autor, «Going climate-neutral by 2050 – A strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate-neutral EU economy» [Klimaneutralität bis 2050 – Eine strategische, langfristige Vision für eine wohlhabende, moderne, wettbewerbsfähige und klimaneutrale EU-Wirtschaft], Europäische Kommission, Broschüre, 2019, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/92f6d5bc-76bc-11e9-9f05-01aa75ed71a1>
- Unbekannter Autor, «Erneuerbare Energien», Internationale Energieagentur, Website, <https://www.iea.org/energy-system/renewables>
- Xu, L. et al., «Resilience of renewable power systems under climate risks» [Resilienz erneuerbarer Energiesysteme gegenüber Klimarisiken], Nature Reviews Electrical Engineering, Vol. 1, pp. 53-66, 2021, <https://www.nature.com/articles/s44287-023-00003-8.pdf>
- Trendmanager-Tool von Trendone, letzter Zugriff am 21.03.2024, <https://www.trendmanager.com/>



HUMAN-ENHANCEMENT-TECHNOLOGIEN

NEUE MASSTÄBE FÜR
MENSCHLICHE LEISTUNG

BESCHREIBUNG:

Die **Steigerung der menschlichen Leistungsfähigkeit** bezeichnet den Einsatz von Wissenschaft und Technologien, um die menschliche Leistungsfähigkeit über die natürlichen biologischen Grenzen hinaus zu erweitern. Unter den Begriff können auch zusätzliche Fähigkeiten fallen, die über das angeborene Potenzial des Menschen hinausgehen. Die Steigerung der menschlichen Leistungsfähigkeit ist eine Unterkategorie der menschlichen Erweiterung – auch als Human Augmentation bezeichnet, die als Anwendung von Wissenschaft und Technologien zur temporären oder permanenten Verbesserung der menschlichen Leistungsfähigkeit definiert wird.

Den Menschen als Plattform zu begreifen, ist grundlegend für jede Überlegung zur menschlichen Erweiterung. Die folgenden Schlüsselemente bilden zusammen die menschliche Plattform:

- **Physische Leistungsfähigkeit** ist die Fähigkeit, die physische Umwelt zu beeinflussen und sich innerhalb dieser zu bewegen. Zu den wichtigsten Merkmalen gehören Kraft, Geschicklichkeit, Schnelligkeit und Ausdauer.
- **Psychologische Leistungsfähigkeit** umfasst Kognition, Emotion und Motivation. Kognition bezeichnet die mentale Handlung oder den Prozess des Erwerbs von Wissen und Verständnis. Emotion beschreibt die subjektive menschliche

Erfahrung und ist eng mit Motivation verknüpft, also der Kraft, die Verhalten antreibt, aktiviert und steuert.

- **Soziale Leistungsfähigkeit** ist die Fähigkeit, sich als Teil einer Gruppe wahrzunehmen, und die Bereitschaft, als Teil des Teams zu handeln.

Es können vier wichtige Technologien der menschlichen Erweiterung identifiziert werden: Gentechnik, Bioinformatik, Gehirnschnittstellen und Pharmakologie. Diese werden im Folgenden näher erläutert.

Gentechnik bezeichnet die Modifikation von Fortpflanzungszellen (Keimbahnveränderung) oder von Zellen eines bereits entwickelten Organismus (somatische Veränderung). Die Keimbahnveränderung betrifft alle Zellen des Organismus, und die Veränderung wird an die nächste Generation weitergegeben. Die somatische Veränderung hingegen wirkt sich nur auf die Zielzellen und die von ihnen abstammenden Zellen aus.

Jüngste Entwicklungen in der Gentechnik versprechen erhebliches Potenzial:

- **Erweiterter Anwendungsbereich:** Mit Gen-Editing können nun bestimmte DNA-Elemente im Zielgenom hinzugefügt, gelöscht und verändert werden.
- **Gesteigerte Präzision und Integration:** Gezielte DNA-Bereiche können mit Schneidewerkzeugen bearbeitet werden,

sodass Veränderungen präziser und sicherer erfolgen. Zwar gibt es noch unerwünschte Nebenwirkungen (Off-Target-Effekte), doch neue Techniken wie Prime Editing verbessern zunehmend die Genauigkeit des Targeting-Prozesses.

- **Verbesserte Dauer der Wirkung:** Die Möglichkeit, das Genom direkt zu modifizieren, anstatt lediglich DNA in Zellen einzufügen, gewährleistet, dass die vorgenommenen Änderungen bei der Zellteilung reproduziert werden und sich die Wirkung ausbreitet.
- **Einfachere Produktion:** Neue Produktionstechniken sind in ihrer Entwicklung und Anwendung oftmals einfacher, kostengünstiger und schneller.

Die Gentechnik könnte eingesetzt werden, um die Vererbung unheilbarer Krankheiten zu verhindern, und sie stellt den ersten Schritt zu einer Präzisionsmedizin dar, die auf der Biologie eines Individuums basiert.

Bioinformatik ist ein interdisziplinäres Forschungsfeld, das rechnergestützte Analysewerkzeuge zur Erfassung und Interpretation grosser biologischer Datensätze einsetzt. Die Verarbeitung derart grosser Datenmengen, die für die Auswertung und Beurteilung zur Verfügung stehen, ermöglicht ein erheblich tieferes Verständnis biologischer, biochemischer, physiologischer, kognitiver und sozialer Verhaltensweisen. Dies wiederum hat neue technologische Entwicklungen in Medizin, Genetik und Biologie vorangetrieben.

Gehirn-Schnittstellen, auch bekannt als neuronale Schnittstellen oder Gehirn-Computer-Schnittstellen (Brain-Computer-Interfaces – BCI), ermöglichen eine direkte Kommunikation zwischen Gehirn und Computer. Sie können einseitig (z. B. zum Verständnis der Gehirnfunktion) oder zweiseitig (z. B. zur Schaffung eines Kontroll- und Feedbacksystems) sein. Hörgeräte sind ein Beispiel für eine einseitige Schnittstelle. Die Übersetzung von Gedanken in Sprache beim Menschen ist ein Beispiel für eine zweiseitige Schnittstelle.

Externe/nicht-invasive Gehirnschnittstellen beruhen auf der direkten, nicht-invasiven Messung von Gehirnaktivität. Interne/invasive Gehirn-Schnittstellen zielen darauf ab, eine Datenverbindung mit hoher Bandbreite zwischen Gehirn und Computer zu entwickeln, indem Elektroden chirurgisch unter die Kopfhaut implantiert werden, um Gehirnsignale zu übertragen. Solche Ansätze bringen jedoch ganz eigene Herausforderungen mit sich.

Neurostimulation kann eingesetzt werden, um die Gehirnfunktion zu verändern. Nicht-invasive Methoden der Neurostimulation, wie die transkranielle Magnetstimulation, nutzen elektrische Impulse, um die Erregbarkeit bestimmter Hirnareale zu erhöhen oder zu verringern. Dies kann potenziell mentale Prozesse wie neuronale Plastizität, Gedächtnis, Aufmerksamkeit und Kreativität beeinflussen.

Gehirn-Schnittstellen könnten die Konzentrations- und Gedächtnisleistung verbessern und so zu neuen Formen kollaborativer Intelligenz führen. In besonders ambitionierten Anwendungen könnten sie sogar den direkten «Download» neuer Fähigkeiten und Wissensinhalte ermöglichen und die Interaktion mit der physischen Welt allein durch Gedankensteuerung gestatten, beispielsweise das Fliegen eines Flugzeugs von jedem beliebigen Ort der Welt aus.

Pharmaka spielen eine zentrale Rolle bei verschiedenen Formen der menschlichen Erweiterung, darunter die Modulation physischer, kognitiver, emotionaler, motivationaler und sensorischer Prozesse. Die meisten Pharmaka zur Leistungssteigerung haben ihren Ursprung in medizinischen Wirkstoffen oder basieren auf dem Versuch, die Konzentration natürlich vorkommender chemischer Substanzen im menschlichen Körper oder in der Natur allgemein zu erhöhen. Allerdings mangelt es bei ihrer Anwendung zur Steigerung menschlicher Fähigkeiten noch an Kenntnissen, und häufig gehen sie mit Nebenwirkungen einher, die potenzielle Vorteile wieder aufheben.

Kognitionssteigernde Pharmaka reichen von Koffein bis zu Stimulanzien wie Amphetaminen. Diese beeinflussen in der Regel eher einfache, niederschwellige Funktionen wie Aufmerksamkeit und Gedächtnis und weniger die Intelligenz auf höherem Niveau. Weitere Formen der kognitiven Erweiterung umfassen die Regulierung des Blutzuckerspiegels und von Hormonen wie Adrenalin und Testosteron. Zu den Pharmaka, welche die körperliche Leistungsfähigkeit steigern, gehören Anabolika. Die Leistungssteigerung kann beeindruckend sein, aber die Nebenwirkungen sind oft schwerwiegend und können sogar zum Tod führen.

Derzeit ist der Einsatz von Pharmaka in der menschlichen Erweiterung noch begrenzt. Allerdings könnten Fortschritte in Biotechnologie, Nanotechnologie und Bioinformatik zukünftig die Entwicklung neuer, gezielterer und wirksamerer pharmakologischer Substanzen ermöglichen.

Zusätzliche interessante Technologien sind Exoskelette, sensorische Erweiterung und soziale Medien. Diese werden im Folgenden erläutert.

Exoskelette sind externe, abnehmbare Strukturen, die den menschlichen Bewegungsapparat unterstützen können und sich seit Jahrzehnten in der Entwicklung befinden. Passive Exoskelette können den Körper entlasten und verringern das Risiko chronischer berufsbedingter Verletzungen. Aktive Exoskelette verstärken die natürlichen Bewegungen des Nutzers, können Gehirnsignale in Bewegung umwandeln und ermöglichen eine wiederhergestellte oder sogar verbesserte Mobilität und Kraft. Exoskelette werden zwar für therapeutische Zwecke entwickelt, finden aber zunehmend Anwendung in industriellen und militärischen Kontexten.



¹¹ Sie können auch Individuen beeinflussen, deren Wahrnehmungsfeld einschränken und somit zu einem Faktor in der Entwicklung hin zum Menschen mit verminderten Fähigkeiten werden.

Prothetische Gliedmassen können als eine Unterkategorie von Exoskeletten betrachtet werden. Die fortschrittlichsten Prothesen verwenden implantierte Mikroelektroden, um eine bidirektionale Schnittstelle zu schaffen.

Sensorische Erweiterung zielt darauf ab, entweder die sensorische Reichweite oder die sensorische Schärfe zu verbessern. Dies kann durch tragbare Technologien (Wearables) oder durch am Körper befestigte bzw. implantierte Sensoren erfolgen, die externe Informationen für die menschlichen Sinne «übersetzen». Dadurch könnte es beispielsweise möglich werden, durch Wände zu «sehen», Vibrationen zu spüren oder chemische Substanzen in der Luft zu erkennen.

Soziale Medien und soziale Netzwerke lassen sich als eine Form der sozialen Erweiterung des Menschen verstehen und haben in einigen Fällen bereits eine hohe Wirksamkeit bewiesen¹¹.

Technologien zur Leistungsoptimierung zielen darauf ab, die menschliche Leistung bis an die Grenze unseres biologischen Potenzials zu verbessern, ohne neue Fähigkeiten hinzuzufügen. Dazu zählen unter anderem physisches und kognitives Training, Schlafoptimierung und optimierte Flüssigkeitszufuhr.

Weniger invasive und weniger ambitionierte Anwendungen der Human-Enhancement-Technologien werden voraussichtlich als erstes umgesetzt. Werden die verschiedenen bedeutenden gesundheitlichen, technologischen und regulatorischen Herausforderungen bewältigt und wächst die gesellschaftliche Akzeptanz von Human-Enhancement-Technologien, so werden zunehmend ambitioniertere und komplexere Anwendungen realisiert werden. Schliesslich könnten sogar integrierte Mensch-Maschine-Symbionten mit bislang unerreichten Fähigkeiten entwickelt werden.

Fortschritte in den Bereichen Materialwissenschaften, Informationssysteme und Humanwissenschaften bilden die Grundlage für eine signifikante Erweiterung der physiologischen, kognitiven und sozialen Fähigkeiten des Menschen. Diese Entwicklungen werden durch rasche parallele Fortschritte in angrenzenden Bereichen wie Robotik und autonome Systeme, Data Science, künstliche Intelligenz, Miniaturisierung sowie innovative Werkstoffe und Fertigungstechnologien ermöglicht. Diese Entwicklungen werden vor allem durch beträchtliche staatliche Investitionen und zunehmendes kommerzielles Interesse vorangetrieben.

AUSWIRKUNGEN UND DIE WICHTIGSTEN UNSICHERHEITEN UND HERAUSFORDERUNGEN:

In der nachstehenden Tabelle fassen wir zusammen, welche Funktionen in der Regel durch Human-Enhancement-Technologien erfüllt werden, welche Wirkungskennzahlen für diese Funktionen durch den Einsatz erneuerbarer Energien voraussichtlich verbessert werden und welche Beispielanwendungen diese Verbesserungen ermöglichen würden.

ÜBERGEORDNETE KATEGORIEN VON HUMAN-ENHANCEMENT-TECHNOLOGIEN	MÖGLICHE ZUKÜNFTIGE VERBESSERUNGEN	MÖGLICHE ANWENDUNGSBEISPIELE
PHYSISCH	<ul style="list-style-type: none"> • VERBESSERTE FÄHIGKEIT, DIE PHYSISCHE UMGEBUNG ZU BEEINFLUSSEN UND SICH DARIN ZU BEWEGEN 	<ul style="list-style-type: none"> • EXOSKELETTE FÜR INDUSTRIELLE UND MILITÄRISCHE ANWENDUNGEN • PHARMAKA ZUR LEISTUNGSSTEIGERUNG MIT GERINGEREN NEBENWIRKUNGEN
PSYCHOLOGISCH	<ul style="list-style-type: none"> • VERBESSERTE WAHRNEHMUNG, EMOTIONEN UND MOTIVATION 	<ul style="list-style-type: none"> • HÖRVERBESSERUNG ZUM PERSÖNLICHEN SCHUTZ • GEDÄCHTNISSTEIGERUNG DURCH NEUROSTIMULATION
SOZIAL	<ul style="list-style-type: none"> • VERBESSERTE KOMMUNIKATIONS-FÄHIGKEITEN • VERBESSERTE ZUSAMMENARBEIT UND GESTÄRKTES VERTRAUEN • STÄRKERER GRUPPENZUSAMMENHALT 	<ul style="list-style-type: none"> • NEUE, INTENSIVE MÖGLICHKEITEN DER VERBINDUNG (Z. B. ÜBER VERNETZTE GEHIRN-MASCHINE-SCHNITTS TELLEN)

Im Anschluss werden die Auswirkungen und die wichtigsten Unsicherheiten und Herausforderungen der Technologien zur Verbesserung der menschlichen Fähigkeiten (Human-Enhancement-Technologien) für die einzelnen Kategorien beleuchtet:

— IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:

- **Auswirkungen:** Technologien zur Verbesserung der menschlichen Fähigkeiten (Human-Enhancement-Technologien) werden voraussichtlich leichter für wohlhabende oder anderweitig privilegierte Bevölkerungsgruppen zugänglich sein. Alternativ ist es denkbar, dass solche potenziell risikobehafteten Technologien in bestimmten Gesellschaften eher benachteiligten Bevölkerungsgruppen vorbehalten bleiben. Ohne gezielte Massnahmen könnte die menschliche Erweiterung bestehende Ungleichheiten verstärken und soziale Spannungen hervorrufen. Darüber hinaus könnten diese Technologien philosophische, religiöse oder andere weltanschauliche Überzeugungen in Frage stellen oder verletzen, was zu Polarisierung, sozialen Spannungen und möglicherweise sogar zu Konflikten führen könnte. Das Interesse an der Selbstoptimierung, insbesondere in einer zunehmend individualisierten und wettbewerbsorientierten Gesellschaft, könnte ebenfalls als treibender Faktor für soziale Spannungen wirken.

- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Inwieweit werden Human-Enhancement-Technologien gesellschaftlich akzeptiert werden? Wie werden Faktoren wie der Zweck, die Wirksamkeit und die Sicherheit dieser Technologien die soziale Akzeptanz beeinflussen? Welche philosophischen Fragestellungen werden sich ergeben, beispielsweise die Frage, was es bedeutet, ein Mensch zu sein, wer eine solche Erweiterung erhalten sollte, kann oder muss und wie mit der möglichen Zunahme von Ungleichheit umzugehen ist?

— IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:

- **Auswirkungen:** Die potenziellen Anwendungsmöglichkeiten der Human-Enhancement-Technologien sind atemberaubend. Im medizinischen Bereich könnte Gentechnik für eine personalisierte Präzisionsmedizin eingesetzt werden. Gehirn-Schnittstellen könnten Lähmungen heilen und zur Behandlung der Alzheimer-Krankheit beitragen. Erhebliche Auswirkungen sind im Bereich der Mensch-Maschine-Schnittstellen zu erwarten – einem zentralen Aspekt für die Anwendung zahlreicher zukünftiger Technologien, darunter Transportwesen und Fertigung.

- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wie können die zahlreichen technologischen Herausforderungen der Gentechnik bewältigt werden, beispielsweise die Entwicklung neuer Vektoren zur Übertragung des genetischen Codes oder ein besseres Verständnis unbeabsichtigter Nebenwirkungen? Wie kann die gewaltige Wissenslücke über das menschliche Gehirn geschlossen werden? Wie können Neurostimulations-Technologien komplexere Funktionen übernehmen oder gezielt spezifische Gehirnareale ansprechen? Wird es möglich sein, komplexe Signale aus tiefen Hirnregionen zu erfassen, ohne Elektroden implantieren zu müssen? Wie kann mit der potenziellen Gefahr des Hackings von Gehirn-Schnittstellen umgegangen werden? Wie können Exoskelette und Prothesen eine bessere Geschwindigkeit und Bewegungsfreiheit erreichen?

— IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:

- **Auswirkungen:** Technologien zur Verbesserung der menschlichen Fähigkeiten (Human-Enhancement-Technologien) haben das Potenzial, die Produktivität und die Gesundheit der Arbeitskräfte zu verbessern und gleichzeitig Behinderungen entgegenzuwirken. Menschliche Erweiterung könnte Menschen zu einem längeren und gesünderen Leben verhelfen und so die Belastung der sozialen Sicherungs- und Gesundheitssysteme durch eine bessere Gesundheit und Produktivität im Alter verringern oder verstärken. Durch personalisierte Medizin könnten der für die Gesundheitsversorgung erforderliche infrastrukturelle Aufwand und die damit verbundenen Kosten gesenkt werden. Entsprechende präventive Interventionen wären nicht nur kostengünstiger, sondern auch effektiver als heutige Ansätze und würden somit die Wirtschaft weniger belasten.

- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Werden Konsumentinnen und Konsumenten diese Technologie im Allgemeinen akzeptieren? Welche wirtschaftlichen Auswirkungen wird Human Enhancement haben, wenn die menschliche Arbeitskraft ohnehin weitgehend durch die Robotik ersetzt wird?

— IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:

- **Auswirkungen:** Human Enhancement wird als langfristige Lösung angesehen, die es dem Menschen ermöglichen könnte, sich an eine sich verändernde Umwelt anzupassen, beispielsweise im Umgang mit den Auswirkungen des Klimawandels sowie bei der Überwachung und Abschwächung dieser Auswirkungen.

- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Welche Nettoauswirkungen auf Umwelt und Klima ergeben sich aus der gesamten Prozesskette der menschlichen Leistungssteigerung – von der Entwicklung über Produktion und Implementierung bis hin zum Betrieb?

— IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:

- **Auswirkungen:** Menschliche Erweiterungen basieren auf sehr persönlichen biologischen Daten. Daraus ergeben sich erhebliche Herausforderungen und Risiken im Hinblick auf Sicherheit, Datenschutz und Privatsphäre. Angesichts der bedeutenden potenziellen Anwendungen im Verteidigungs- und Sicherheitsbereich könnten Staaten in ein «Wettrüsten» um Technologien zur Verbesserung der menschlichen Fähigkeiten eintreten.

- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wie können die zahlreichen regulatorischen, rechtlichen und Governance-Herausforderungen bewältigt werden? Wie sollte mit besonders umstrittenen Anwendungen umgegangen werden, etwa mit Do-it-yourself-Enhancements, genetischer Manipulation am Menschen und «Designer-Babys»? Wie sollte Human Enhancement im militärischen Kontext reguliert werden? Wird Human Enhancement langfristig als Menschenrecht angesehen, oder wird ihre Entwicklung und Verbreitung dem Markt überlassen?

SCHWACHE SIGNALE:

- › **Neuralink**, ein von Elon Musk gegründetes Neurotechnologie-Unternehmen, hat einen neurochirurgischen Roboter entwickelt, der flexible Polymerfäden in das Gehirn implantieren kann. Diese Fäden sind mit einem kleinen, energieeffizienten Implantat verbunden, das Gehirnsignale verstärkt, digitalisiert und mit Breitbandgeschwindigkeit an technologische Geräte überträgt.
- › **Die University of Utah** [Universität von Utah] hat eine Armprothese entwickelt, die mit 100 Mikroelektroden eine Schnittstelle zum Nervensystem des Nutzers herstellt. Die erstmalige Kombination von Robotik und Elektrodenarrays ermöglicht es dem Träger, taktile Empfindungen wahrzunehmen – eine essenzielle Fähigkeit für die Handhabung empfindlicher Objekte.
- › **Die Universität von Grenoble** ermöglichte es einem gelähmten Patienten, wieder zu gehen, indem sie zwei drahtlose Implantate einsetzte, die Gehirnsignale in Roboterbewegungen umwandeln.
- › Das vom CNRS geleitete Forschungsprogramm **MolecularArXiv** entwickelt neuartige Datenspeicher auf Basis von DNA und künstlichen Polymeren.

WECHSELWIRKUNGEN MIT ANDEREN TRENDS:

- › **Data Science und KI:** Data Science und KI sind zentrale Bestandteile der Bioinformatik und spielen auch in zahlreichen weiteren Anwendungsbereichen eine wesentliche Rolle, beispielsweise bei der Arzneimittelentwicklung.
- › **Immersive Technologien:** Human-Enhancement-Technologien und immersive Technologien gehen Hand in Hand, wobei letztere häufig als Unterkategorie der ersteren betrachtet werden.
- › **Quantentechnologien:** Quantensimulationen könnten die Forschung an innovativen Human-Enhancement-Technologien erheblich vorantreiben.
- › **Sensortechnologien:** Miniaturisierte biokompatible Sensoren könnten eine Schlüsselkomponente zukünftiger Human-Enhancement-Technologien darstellen. Biosensoren sind eine neuartige Kategorie von Sensoren.
- › **Neue Raumfahrttechnologien:** Human-Enhancement-Technologien könnten eine entscheidende Rolle bei der langfristigen Besiedlung und Anpassung des Menschen an den Weltraum spielen.

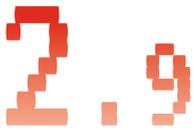
- › **Neue Werkstoffe und digitale Produktion:** Innovative Werkstoffe sind eine zentrale Komponente von Human-Enhancement-Technologien. Digitale Produktionstechniken, wie 3D-Druck, eröffnen bedeutende Anwendungsmöglichkeiten in diesem Bereich (beispielsweise das Drucken menschlicher Organe).
- › **Erneuerbare Energien und Resilienz:** Langfristig könnten innovative Human-Enhancement-Technologien dazu beitragen, die Menschheit an eine durch den Klimawandel weniger lebensfreundliche Erde anzupassen.
- › **Cyber-Technologien:** Mit der Entwicklung von Human-Enhancement-Technologien wird der menschliche Körper selbst Teil der Cyber-Domäne.
- › **Digitale Kommunikation:** Digitale Kommunikationstechnologien sind eine zentrale Komponente von Human-Enhancement-Technologien.
- › **Robotik und autonome Systeme:** Human-Enhancement-Technologien ermöglichen nahtlose und hoch entwickelte Mensch-Roboter-Schnittstellen, auch für komplexe Anwendungen. Zudem kann die Robotik diese Technologien verbessern, beispielsweise bei Prothesen.

WECHSELWIRKUNGEN MIT MEGATRENDS:

- › **Veränderung der Arbeitswelt:** Human-Enhancement-Technologien könnten zahlreiche arbeitsrelevante Fähigkeiten verbessern und die Produktivität steigern, indem sie physische, kognitive und soziale Kompetenzen erweitern.
- › **Sicherheitsverständnis im Wandel:** Diese Technologien könnten wichtige Anwendungen in der Verteidigung und Sicherheit finden, indem sie wesentliche Fähigkeiten und Eigenschaften – etwa bei Soldaten – optimieren.
- › **Diversifizierung von Bildung und Lernen:** Durch Human-Enhancement-Technologien könnten mentale Fähigkeiten, die für das Lernen relevant sind, verbessert werden.
- › **Zunehmende Ungleichheiten:** Der Zugang zu diesen Technologien wird vermutlich ungleich verteilt sein, sodass sie Ungleichheiten zwischen wohlhabenden und armen Bevölkerungsgruppen weiter verschärfen könnten.
- › **Gesundheit im Wandel:** Human-Enhancement-Technologien könnten bahnbrechende Auswirkungen auf die Lebensqualität und -dauer haben, mit allen damit verbundenen Vorteilen.

REFERENZEN UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

- Unbekannter Autor, «Human Augmentation - The Dawn of a New Paradigm, A strategic implications project» [Menschliche Erweiterung – Der Beginn eines neuen Paradigmas, Ein Projekt zu strategischen Implikationen], Verteidigungsministerium des Vereinigten Königreichs und Planungsamt der Bundeswehr, Bericht, 2020, https://assets.publishing.service.gov.uk/media/609d23c6e90e07357baa8388/Human_Augmentation_SIP_access2.pdf
- Reding, D.F. et al., «Science & Technology Trends 2020-2040» [Wissenschafts- und Technologietrends 2020–2040], NATO Science & Technology Organisation, Bericht, 2020, https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2020/4/pdf/190422-ST_Tech_Trends_Report_2020-2040.pdf
- Trendmanager-Tool von Trendone, letzter Zugriff am 21.03.2024, <https://www.trendmanager.com/>



CYBER-TECHNOLOGIEN

SCHUTZ UNSERER ZUNEHMEND
DIGITALEN LEBENSWEISE

BESCHREIBUNG:

Cyberspace kann als der virtuelle und physische Raum aller informationstechnologischen Systeme definiert werden, die auf Datenebene global miteinander verbunden sind. Die Grundlage des Cyberspace bildet das Internet als universelles und öffentlich zugängliches Verbindungs- und Transportnetzwerk, welches durch eine beliebige Anzahl zusätzlicher Datennetze ergänzt und erweitert werden kann. **Cyber-Technologie** bezeichnet die Wissenschaft und Technik der Hardware, Software, Dienste und Verbindungen, die den Cyberspace ausmachen. Der übergeordnete Fokus der Cyber-Technologien liegt darauf, Bedrohungen im Cyberspace abzuwehren und zu minimieren. Die Cyber-Sicherheit, auch als IT-Sicherheit bezeichnet, konzentriert sich auf den Schutz von Computern, Netzwerken, Programmen und Daten vor ungewolltem oder unbefugtem Zugriff, Veränderung oder Zerstörung.

Kritische Infrastrukturen bestehen aus öffentlichen und privaten Einrichtungen in Schlüsselsektoren, darunter: Landwirtschaft, Gesundheitswesen, Notfalldienste, Regierung, Information und Telekommunikation, Energieversorgung, Transportwesen sowie Banken und das Finanzwesen. Der Cyberspace fungiert als ihr Nervensystem – das Kontrollsystem der Gesellschaft. Er umfasst eine Vielzahl miteinander verbundener Computer, Server, Router, Switches, Kabel und drahtloser Verbindungen, die das Funktionieren dieser kritischen Infrastrukturen ermöglichen. Daher ist das einwandfreie Funktionieren des Cyberspace von wesentlicher Bedeutung für die Gesellschaft.

Die Cyber-Sicherheit lässt sich in fünf Hauptkategorien unterteilen, die jeweils mehrere Unterkategorien umfassen und im Folgenden näher erläutert werden.

Zu den Aspekten von **Angriff und Verteidigung** gehören die folgenden Bereiche:

- *Schadsoftware und Angriffstechnologien* konzentrieren sich auf die Identifizierung und Ausnutzung von Sicherheitslücken, die Entwicklung verteilter, schädlicher Systeme sowie die Anwendung entsprechender Erkennungs- und Analyseverfahren.
- Die Analyse *gegnerischer Verhaltensweisen* umfasst die Untersuchung der Motivationen, Methoden und Vorgehensweisen von Angreifern. Dazu gehören Lieferketten von Schadsoftware, Angriffsvektoren und Geldtransfers.
- *Sicherheitsoperationen und Vorfallmanagement* befassen sich hauptsächlich mit der Konfiguration, dem Betrieb und der Wartung sicherer Systeme. Dazu zählen die Erkennung und Reaktion auf Sicherheitsvorfälle sowie die Erfassung und Nutzung von Bedrohungsinformationen.
- *Forensik* beschäftigt sich mit der Erfassung, Analyse und Dokumentation digitaler Beweise zur Unterstützung bei Sicherheitsvorfällen und kriminellen Handlungen.

Zu den Aspekten der **Systemsicherheit** gehören die folgenden Bereiche:

- *Kryptographie* untersucht die grundlegenden mathematischen Prinzipien der Verschlüsselung, neue Kryptographie-Algorithmen sowie die Protokolle, welche diese nutzen.
- Die *Sicherheit von Betriebssystemen und Virtualisierung* befasst sich unter anderem mit Schutzmechanismen für Betriebssysteme, der sicheren Abstraktion von Hardware und der sicheren Ressourcennutzung. Dazu gehören die Isolierung in Mehrbenutzersystemen, die sichere Virtualisierung und Sicherheitsmassnahmen in Datenbanksystemen.
- Die *Sicherheit verteilter Systeme* umfasst Schutzmechanismen für gross angelegte und koordinierte verteilte Systeme. Dazu zählen Peer-to-Peer-Systeme, Cloud-Umgebungen, Multi-Tenant-Rechenzentren und Distributed-Ledger-Technologien.
- *Authentifizierung, Autorisierung und Verantwortlichkeit* beziehen sich auf alle Aspekte des Identitätsmanagements und der Authentifizierungstechnologien sowie auf Architekturen und Werkzeuge, welche die Autorisierung und Verantwortlichkeit in isolierten und verteilten Systemen unterstützen.

Zu den Aspekten der Software- und Plattform-Sicherheit gehören die folgenden Bereiche:

- *Softwaresicherheit* konzentriert sich auf Kategorien von Programmierfehlern, die zu Sicherheitslücken führen, sowie auf Techniken zur Vermeidung dieser Fehler, sowohl durch eine bessere Programmierpraxis als auch durch verbesserte Sprachdesigns. Dazu gehören auch Werkzeuge, Techniken und Methoden zur Erkennung solcher Fehler in bestehenden Systemen.
- *Web- und mobile Sicherheit* zielt darauf ab, Sicherheitsprobleme in Webanwendungen und -diensten zu lösen, die über verschiedene Geräte und Frameworks verteilt sind. Dies umfasst unterschiedliche Programmierparadigmen und Schutzmodelle.

• *Sicherer Software-Lebenszyklus* bedeutet die Anwendung von Sicherheitsprinzipien im gesamten Softwareentwicklungsprozess, was automatisch zu einer sicheren Software führt. Zu den Aspekten der Infrastruktursicherheit gehören die folgenden Bereiche:

- *Netzwerksicherheit* konzentriert sich auf Netzwerk- und Telekommunikationsprotokolle, einschliesslich der Sicherheit von Routing-Prozessen, Netzwerksicherheitskomponenten und spezifischen kryptographischen Protokollen, welche für die Netzwerksicherheit verwendet werden.
- *Hardwaresicherheit* betrifft die Sicherheit in der Entwicklung, Implementierung und Bereitstellung von allgemeinen und spezialisierten Hardwarekomponenten. Dazu zählen Trusted-Computing-Technologien und Zufallsquellen.
- Sicherheit in cyber-physischen Systemen ist darauf ausgerichtet, Sicherheitsherausforderungen in cyber-physischen Systemen, wie dem Internet der Dinge und industriellen Steuerungssystemen, anzugehen und Sicherheitsaspekte gross angelegter Infrastrukturen zu untersuchen.
- *Sicherheit der physikalischen Schicht und Telekommunikationssicherheit* befasst sich mit Sicherheitsfragen und Einschränkungen der physikalischen Übertragungsschicht. Dazu zählen Funkfrequenzkodierungen, Übertragungstechniken sowie Störanfälligkeit.

Menschliche, organisatorische und regulatorische Aspekte konzentrieren sich auf nicht-technische Belange wie Governance, Regulierung, menschliche Faktoren und Datenschutz.

Der Cyberspace, wie er weiter oben definiert wurde, wird voraussichtlich weiter wachsen, da angrenzende Technologiebereiche in Zukunft weiterentwickelt werden. So wird der Cyberspace über das Internet der Dinge auf eine Vielzahl von Objekten und Geräten ausgeweitet und könnte durch Human-Enhancement-Technologien, wie Gehirn-Schnittstellen, bis in den menschlichen Körper hineinreichen. Die damit verbundenen Anforderungen an die Cyber-Sicherheit werden somit zunehmend anspruchsvoller. Die Weiterentwicklung weiterer angrenzender Technologien (z. B. künstliche Intelligenz) wird automatisch auch zur Perfektionierung von Cyber-Sicherheitstechnologien beitragen, beispielsweise im Bereich von Angriffs- und Verteidigungsmethoden.

AUSWIRKUNGEN UND DIE WICHTIGSTEN UNSICHERHEITEN UND HERAUSFORDERUNGEN:

Die nachstehende Tabelle enthält eine Zusammenfassung der Funktionen, die durch Cyber-Technologien in der Regel zur Verfügung gestellt werden, sowie der Wirkungskennzahlen, die sich für diese Funktionen voraussichtlich verbessern werden, gefolgt von Beispielanwendungen, die durch solche Verbesserungen möglich würden.

ÜBERGEORDNETE KATEGORIEN VON CYBER-TECHNOLOGIEN	MÖGLICHE ZUKÜNFTIGE VERBESSERUNGEN	MÖGLICHE ANWENDUNGSBEISPIELE
ANGRIFFE UND VERTEIDIGUNGSMASSNAHMEN	<ul style="list-style-type: none"> • VOLLSTÄNDIG AUTOMATISIERTE ENTDECKUNG KOMPLEXER SEMANTISCHER SCHWACHSTELLEN • VOLLSTÄNDIG AUTOMATISIERTE GENERIERUNG VON EXPLOITS FÜR NICHT-TRIVIALE SCHWACHSTELLEN • SCHADSOFTWARE DER NÄCHSTEN GENERATION: NICHT ERKENNBARE BACKDOORS IN MASCHINELLEN LERNMODELLEN • VERBESSERTE ERKENNUNG UND REAKTION AUF ANGRIFFE 	<ul style="list-style-type: none"> • AUTOMATISCHE ERKENNUNG VON SCHWACHSTELLEN IN SOFTWARE UND SYSTEMEN • AUTONOME HACKING-BOTS UND -ARMEEN MIT WENIG ODER GAR KEINER MENSCHLICHEN BETEILIGUNG • AUTOMATISIERTE VERTEIDIGUNG VON SYSTEMEN
SYSTEMSICHERHEIT	<ul style="list-style-type: none"> • EINFÜHRUNG VERTRAUENSWÜRDIGER AUSFÜHRUNGsumGEBUNGEN • AUTHENTIFIZIERUNG OHNE PASSWORT, Z. B. AUF DER GRUNDLAGE BIOMETRISCHER DATEN • GLOBALE DATENVERARBEITUNGSRICHTLINIEN ANALOG ZUR DSGVO UND ZUM KI-GESETZ DER EU 	<ul style="list-style-type: none"> • PLATTFORMUNABHÄNGIGE SYSTEME (LOKAL ODER CLOUD IRRELEVANT) • POST-QUANTEN-KRYPTOGRAPHIE • KONSOLIDIERUNG VON SICHERHEITSDIENSTLEISTERN (Z. B. DURCH SASE)
SOFTWARE- UND PLATTFORMSICHERHEIT	<ul style="list-style-type: none"> • VERBESSERTE SICHERHEIT IN DER SOFTWAREENTWICKLUNG DURCH AUTOMATISIERUNG • KI-GESTÜTZTES SOFTWARE-ENGINEERING (CODE-ASSISTENT) • WEIT VERBREITETE NUTZUNG VON BOMS (STÜCKLISTEN) 	<ul style="list-style-type: none"> • STRATEGIEN FÜR SICHERES PROGRAMMIEREN • VEREINFACHTES SOFTWARE-ENGINEERING FÜR NICHT-EXPERTEN DURCH DEN EINSATZ VON LLMS
INFRASTRUKTURSICHERHEIT	<ul style="list-style-type: none"> • FRAGMENTIERUNG VON NETZWERKEN • BREITE NUTZUNG VON TRUSTED COMPUTING ENVIRONMENTS • REGULIERUNG DER IOT-SICHERHEIT UND DER SICHERHEIT INDUSTRIELLER KONTROLLSYSTEME 	<ul style="list-style-type: none"> • ZERO-TRUST-NETZWERK-ARCHITEKTUREN • AUTOMATISIERUNG GETESTETER INFRASTRUKTUR-BEREITSTELLUNGEN • VERTRAUENSWÜRDIGE AUSFÜHRUNG VON SOFTWARE • ERSETZUNG MENSCHLICHER ARBEITSKRÄFTE DURCH ROBOTER FÜR BESTIMMTE AUFGABEN

Im Anschluss werden die Auswirkungen und die wichtigsten Unsicherheiten und Herausforderungen der Cyber-Technologien für die einzelnen Kategorien beleuchtet:

— **IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Ansätze der Cyber-Sicherheit könnten unter anderem das Vertrauen in die Daten- und Kommunikationssicherheit stärken und somit einen massgeblichen Einfluss auf die gesellschaftliche Akzeptanz der zahlreichen davon abhängigen angrenzenden Technologien haben (z. B. Daten und künstliche Intelligenz, Human Enhancement). Wenn böswillige Ansätze überwiegen, könnten sie jedoch auch den gegenteiligen Effekt haben.

- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wie werden Cyber-Technologien die gesellschaftliche Haltung zu Sicherheit und Datenschutz beeinflussen? Wie wird sich der aktuelle Digitalisierungstrend entwickeln?

— **IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Cyber-Sicherheitstechnologien ermöglichen den Schutz sensibler Informationen und unterstützen damit zahlreiche Anwendungen und Technologien, die auf die Nutzung solcher Daten angewiesen sind. Darüber hinaus verbessern sie die sichere Kommunikation und den Datenaustausch über Netzwerke, indem sie die Vertraulichkeit, Integrität und Authentizität der übertragenen Informationen gewährleisten. Dies wiederum erleichtert den Einsatz vieler zukünftiger Anwendungen, die auf diese Fähigkeiten angewiesen sind.

- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** In welchem Umfang wird sich künstliche Intelligenz auf die Entwicklung von Cyber-Technologien auswirken? Wie wird sich die erwartete bahnbrechende Wirkung der Quantenkryptographie und des Quantencomputings auf Cyber-Technologien auswirken? In welchem Zeithorizont werden diese disruptiven Entwicklungen stattfinden?

— **IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Cyber-Angriffe auf die Infrastruktur der Zukunft (Stromnetze, Transportsysteme und Gesundheitseinrichtungen) könnten sowohl direkt als auch indirekt (wirtschaftliche Folgewirkungen) verheerende wirtschaftliche Auswirkungen haben und sogar Menschenleben fordern. Cyber-Sicherheitstechnologien, die entweder zum Angriff oder zur Verteidigung solcher für die Wirtschaft kritischen Infrastrukturen eingesetzt werden, werden dann einen überproportional grossen Einfluss haben.

- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wie können Unternehmen die Rentabilität ihrer Investitionen in Cyber-Sicherheitstechnologien sicherstellen? Wie lassen sich die ökonomischen Vorteile von Cyber-Sicherheitstechnologien quantifizieren? Wie kann der wachsende Bedarf an Fachpersonal für Cyber-Sicherheit gedeckt werden?

— **IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Defensive Cyber-Sicherheitsstrategien könnten Cyber-Angriffe abwehren, die negative ökologische Folgen haben könnten, beispielsweise Angriffe auf Staudämme oder Energieanlagen. Gleichzeitig sind einige Cyber-Technologien von Natur aus äusserst ressourcenintensiv (beispielsweise für das Training von Large Language Models) und könnten somit negative Umweltauswirkungen haben.

- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wie wird sich die Ressourcen- und Energieeffizienz der für die Umsetzung von Cyber-Technologien erforderlichen Software, Hardware und Infrastruktur entwickeln?

— **IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** In einer Welt zunehmender geopolitischer Spannungen wird der Cyberspace zu einem weiteren umkämpften Bereich. Cyber-Technologien werden in diesem Wettbewerb immer ausgefeiltere Tools bereitstellen. Solche «in Waffen verwandelte» Cyber-Tools könnten eine Regulierung erforderlich machen, beispielsweise durch internationale Abkommen zur Kontrolle von Cyber-Waffen.

- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wie wird sich das dynamische regulatorische Umfeld (Gesetze, Vorschriften, Compliance-Anforderungen auf nationaler und internationaler Ebene) rund um die Cyber-Sicherheit entwickeln? Inwieweit werden sich regulatorische Entwicklungen auf die Cyber-Sicherheitspraktiken auswirken? Welches «strategische Gleichgewicht» wird sich zwischen offensiven und defensiven Cyber-Waffen herausbilden? Welche globalen Standards sollten entwickelt werden, die die Regulierung von Cyber-Technologien unterstützen?

SCHWACHE SIGNALE:

- › **Safe Security** hat eine Plattform zur schnellen Abschätzung von Cyber-Risiken für Unternehmen zu Versicherungszwecken entwickelt.
- › Die US-Regierung hat eine «**Space Policy Directive**» [Richtlinie zur Weltraumpolitik] zur Cyber-Sicherheit im Weltraum herausgegeben. Diese Richtlinie fordert öffentliche und private Akteure der Raumfahrtindustrie dazu auf, Cyber-Sicherheitsaspekte bereits in den frühesten Phasen der Entwicklung von Raumfahrzeugen zu berücksichtigen.
- › Forschende des **MIT** haben eine Methode zur quantitativen Bewertung von Cyber-Sicherheitsmethoden entwickelt. Dieses Framework analysiert die Wahrscheinlichkeit, mit der Angreifer bestimmte Schwachstellen ausnutzen und geheime Informationen stehlen können.

WECHSELWIRKUNGEN MIT ANDEREN TRENDS:

- › **Data Science und KI:** Neuartige KI-Methoden werden bei der Entwicklung sowohl offensiver als auch defensiver Cyber-Tools eine entscheidende Rolle spielen.
- › **Immersive Technologien:** Cyber-Technologien und Cyber-Sicherheit sind essenzielle Bausteine, um sicherzustellen, dass immersive Technologien auf einem soliden Fundament stehen.
- › **Quantentechnologien:** Quantencomputing birgt disruptives Potenzial für die Cyber-Sicherheit, indem sie bestehende kryptographische Verfahren obsolet macht und neue quantenbasierte Kryptographiemethoden zur Verfügung stellt.
- › **Sensortechnologien:** Neue Sensortechnologien könnten Teil erweiterter Netzwerke im Cyberspace werden. Die potenziell drastische Zunahme der Anzahl von Sensoren würde jedoch auch die «Angriffsfläche» für mögliche Cyber-Angriffe erheblich vergrößern.
- › **Neue Raumfahrttechnologien:** Der Weltraum wird zunehmend zu einem Bestandteil des Cyberspace und erfordert daher immer fortschrittlichere Cyber-Sicherheitslösungen.
- › **Neue Werkstoffe und digitale Produktion:** Innovative digitale Produktionsmethoden, wie das Internet der Dinge, werden den Cyberspace um ein Vielfaches erweitern.
- › **Erneuerbare Energien und Resilienz:** Cyber-Sicherheitskonzepte können dazu beitragen, zukünftige Energiein-

frastrukturen zu schützen und sie widerstandsfähiger gegenüber Cyber-Angriffen zu machen.

- › **Human-Enhancement-Technologien:** Bemerkenswerterweise könnten durch Technologien zur Verbesserung der menschlichen Fähigkeiten [Human-Enhancement-Technologien] der menschliche Körper und sogar das Gehirn Teil des Cyberspace werden. Dies birgt jedoch das Risiko, dass Menschen selbst potenziell Ziel von Cyber-Angriffen werden.
- › **Robotik und autonome Systeme:** Autonome Systeme und Robotiksysteme werden einen wesentlichen Bestandteil der Cyber-Domäne ausmachen.
- › **Digitale Kommunikation:** Neue digitale Kommunikationsmethoden werden die Konnektivität innerhalb des Cyberspace weiter steigern und seine Expansion drastisch beschleunigen.

WECHSELWIRKUNGEN MIT MEGATRENDS:

- › **Sicherheitsverständnis im Wandel:** Ein sich wandelndes sicherheitspolitisches und geopolitisches Paradigma wird den Wettbewerb und die Konflikte in der Cyber-Domäne verstärken und die Nachfrage nach ausgereifteren Cyber-Sicherheitslösungen erhöhen.
- › **Fortschreitende Urbanisierung:** Die zunehmende «Smartifizierung» (Digitalisierung und Vernetzung) von Städten ist stark von Cyber-Technologien abhängig. Dadurch wird die städtische Infrastruktur jedoch auch erheblich anfälliger für Cyber-Angriffe.
- › **Veränderung der Arbeitswelt:** Die Nachfrage nach Sicherheitsfachleuten wird in allen digitalisierten Branchen weiter steigen.
- › **Zunehmender Einfluss neuer Regierungssysteme:** Die Bedrohung durch Cyber-Angriffe und deren manipulative Auswirkungen behindern die weitere Digitalisierung von Wahlen sowie die politische Beteiligung von Bürgerinnen und Bürgern und erschweren die vollständige Digitalisierung öffentlicher Dienstleistungen.
- › **Gesundheit im Wandel:** Da personenbezogene Gesundheitsdaten zunehmend im Cyberspace übertragen und gespeichert werden, steigt das Risiko, dass diese Daten gehackt oder abgefangen werden.

REFERENZEN UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

- Rashid, A. et al., «CyBOK, The Cyber Security Body of Knowledge» [CyBOK: Das Wissenskompendium der Cyber-Sicherheit], The National Cyber Security Centre, Buch, 2019, <https://www.cybok.org/media/downloads/CyBOK-version-1.0.pdf>
- Ebner, N. et al., «Cyber Space, Cyber Attack and Cyber Weapons, A Contribution to the Terminology» [Cyberspace, Cyber-Angriffe und Cyber-Waffen: Ein Beitrag zur Terminologie], IFAR2 Fact Sheet, Broschüre, 2015, https://ifsh.de/file-IFAR/pdf_english/IFAR2-FactSheet7.pdf
- Unbekannter Autor, «The National Strategy to Secure Cyberspace» [Nationale Strategie zur Cyber-Sicherheit], Weisses Haus, Bericht, 2003, https://georgewbush-whitehouse.archives.gov/pcipb/cyberspace_strategy.pdf

2.10

DIGITALE KOMMUNIKATION

FÖRDERUNG DER KONNEKTIVITÄT UND
ERMÖGLICHUNG NAHTLOSER
GLOBALER KOMMUNIKATION

BESCHREIBUNG:

Digitale Kommunikation wird als der Transfer digitaler Informationen zwischen verschiedenen Punkten definiert. Die meisten Kommunikationssysteme, die heutzutage für den Informationsaustausch genutzt werden, sind bereits digital oder werden von analoger auf digitale Technik umgestellt. Derartige Kommunikationssysteme können sowohl drahtgebunden als auch drahtlos sein. **Digitale Konnektivität** umfasst digitale Netzwerke, die von mobilfunk- und festnetzbasierenden Infrastrukturen bis hin zum Internet reichen, einschliesslich Kabel- und Satellitennetzen. Im Rahmen dieses Berichts behandeln wir die Begriffe «digitale Kommunikation» und «digitale Konnektivität» als synonyme Begriffe. Bestehende Konnektivitätstechnologien werden in immer mehr Regionen und Domänen eingesetzt. Gleichzeitig sorgen die neuesten Standards dafür, dass diese Technologien robuster werden. Fortschrittliche Konnektivitätstechnologien ermöglichen neue Anwendungsszenarien.

Glasfasernetzwerke bieten zuverlässige, hochdurchsatzfähige¹², latenzarme¹³ Konnektivität, die über Kabel bereitgestellt wird. Diese Netzwerke haben in der Vergangenheit ein rasantes Wachstum erfahren und versorgen Millionen von Menschen mit Hochgeschwindigkeitsinternet. Der Ausbau der Glasfasernetzwerke wird kontinuierlich fortgesetzt.

Wi-Fi der nächsten Generation (Wi-Fi 6) zielt darauf ab, die Übertragungsgeschwindigkeiten zu erhöhen und gleichzeitig eine grössere Anzahl vernetzter Geräte zu unterstützen. Diese Technologie kann in stark frequentierten Umgebungen wie etwa Flughäfen, Wohngebäuden und Stadien den entscheidenden Unterschied machen. Dank seiner Leistungsfähigkeit und Sicherheitsmerkmale eignet sich Wi-Fi 6 auch für industrielle Anwendungen.

¹² Mass für die Menge an Informationseinheiten, die ein System in einer bestimmten Zeitspanne verarbeiten kann.

¹³ Verzögerung bei der Netzkommunikation.

Mobilfunknetze werden derzeit von der bestehenden 4G-Infrastruktur auf 5G umgerüstet. Niedrig- bis mittelfrequente 5G-Netze bieten signifikante Verbesserungen in Bezug auf Geschwindigkeit und Latenz, während sie gleichzeitig eine höhere Dichte an vernetzten Geräten unterstützen. High-Band-5G, auch als 5G-Millimeterwellen oder 5G-Standalone bekannt, stellt einen bedeutenden Leistungssprung dar. High-Band-5G ist die schnellste Mobilfunkoption und verspricht erstklassige Leistungen in Bezug auf Geschwindigkeit, Latenz, Zuverlässigkeit und Sicherheit. Die Technologie wird somit die Möglichkeiten mobiler Endgeräte erweitern. Die Aufrüstung der für High-Band-5G erforderlichen Infrastruktur ist jedoch mit erheblichem Aufwand und hohen Kosten verbunden. Über die aktuellen Technologien hinaus stellen 6G-Systeme die nächste Generation der drahtlosen Kommunikation dar. Diese Systeme verfolgen das Ziel, ein allgegenwärtiges drahtloses Netzwerk zu schaffen, das intelligent, zuverlässig, skalierbar und sicher ist und sowohl terrestrische als auch weltraumgestützte Kommunikationssysteme umfasst.

Zu den **Technologien für drahtlose persönliche Netzwerke** zählen Bluetooth, NFC (Near-Field Communication) und RFID (Radio Frequency Identification). RFID ermöglicht eine einseitige, kontaktlose Kommunikation zwischen Geräten, während NFC eine neuere Technologie darstellt, die eine Zwei-Wege-Kommunikation im Nahbereich ermöglicht. Bluetooth ermöglicht den Datenaustausch zwischen festen und mobilen Geräten über Funkwellen und bildet so persönliche Netzwerke.

Niedrigenergie-Weitverkehrsnetze (Low-Power Wide-Area Networks – LPWANs) ermöglichen die Konnektivität über grössere Gebiete und grössere Reichweiten. Da LPWANs den angeschlossenen Geräten weniger Strom abverlangen, könnten sie die Batterielaufzeit dieser Geräte erheblich verlängern (z. B. um mehrere Jahre). In diesem Bereich gibt es verschiedene Protokolle (z. B. LoRa, NB-IoT und SigFox). Diese Standards wurden eigens entwickelt, um die Leistungsfähigkeit von IoT-Geräten zu optimieren.

Satelliten in einer niedrigen Erdumlaufbahn sollen einen Durchbruch in der Flächendeckung ermöglichen. Sie decken Gebiete ab, in denen das Verlegen von Glasfaserkabeln oder der Aufbau von Funkmastnetzen zu teuer wäre. Um dies zu erreichen, werden Konstellationen von zahlreichen Satelliten in einer niedrigen Erdumlaufbahn eingesetzt, wobei jeder Satellit die Erde gleichzeitig umkreist. Diese Satellitenkonstellationen bieten zudem eine signifikant reduzierte Latenzzeit im Vergleich zu bestehenden Satellitenlösungen.

In Zukunft werden die oben beschriebenen Technologien weiterentwickelt, sodass sie eine globale, allgegenwärtige, leistungsstarke und sichere Konnektivität bereitstellen können. Darüber hinaus werden sie weiterentwickelt werden, sodass sie den zahlreichen und zunehmend komplexen Anwendungsszenarien der Konnektivität gerecht werden.

Der Fortschritt bei den drahtlosen Technologien wird dabei massgeblich durch zwei technologische Faktoren vorangetrieben: Cloud Computing und das Internet der Dinge:

- *Cloud Computing* bezeichnet ein Netzwerkmodell, bei dem Anwendungen auf Netzwerkservern gehostet und vom Endnutzer – beispielsweise über einen PC – abgerufen werden. Es wird erwartet, dass die Nutzung von Cloud Computing weiter zunimmt. Dieser Trend stellt jedoch eine erhebliche Belastung für die Kommunikationsinfrastruktur dar, da die Technologie sowohl mit der steigenden Mobilität der Nutzerinnen und Nutzer als auch mit der zunehmenden Verbreitung des Mobile Computing umgehen können muss.
- Das *Internet der Dinge* beschreibt die allgegenwärtige Integration von — in der Regel drahtloser — Internetkonnektivität in alltägliche Gegenstände. Derzeit sind viele Milliarden Geräte mit dem Internet verbunden, und diese Zahl wird voraussichtlich exponentiell ansteigen. Die drahtlose Technologie wird eine Schlüsselrolle bei der Verwirklichung dieser Vision spielen.

AUSWIRKUNGEN UND DIE WICHTIGSTEN UNSICHERHEITEN UND HERAUSFORDERUNGEN:

Die nachstehende Tabelle enthält eine Zusammenfassung der Funktionen, die durch die Nutzung digitaler Kommunikation in der Regel zur Verfügung gestellt werden, sowie der Wirkungskennzahlen, die sich für diese Funktionen voraussichtlich verbessern werden, gefolgt von Beispielanwendungen, die durch solche Verbesserungen möglich würden.

ÜBERGEORDNETE KATEGORIEN DER DIGITALEN KOMMUNIKATION	MÖGLICHE ZUKÜNFTIGE VERBESSERUNGEN	MÖGLICHE ANWENDUNGSBEISPIELE
GLASFASER (TERRESTRISCH VERLEGTE KABEL)	<ul style="list-style-type: none"> • HÖHERER DURCHSATZ • NIEDRIGERE LATENZ • GERINGERE WARTUNGSKOSTEN 	<ul style="list-style-type: none"> • GRUNDPFEILER MODERNER TELEKOMMUNIKATIONS-NETZE • INTERNE KOMMUNIKATION IM RECHENZENTRUM
LOW-POWER WIDE-AREA (TERRESTRISCH, DRAHTLOS)	<ul style="list-style-type: none"> • MEHR VERNETZTE GERÄTE • HÖHERE ENERGIEEFFIZIENZ • ERHÖHTE REICHWEITE • NIEDRIGERE VERBINDUNGSKOSTEN 	<ul style="list-style-type: none"> • BESTANDSVERFOLGUNG UND LOGISTIK • KONNEKTIVITÄT FÜR SMART CITIES
WI-FI 6 (TERRESTRISCH, DRAHTLOS)	<ul style="list-style-type: none"> • VERBESSERTE GESCHWINDIGKEIT, REICHWEITE UND SICHERHEIT • BESSER GEEIGNET FÜR INDUSTRIELLE ANWENDUNGEN 	<ul style="list-style-type: none"> • KONNEKTIVITÄT FÜR DAS INTERNET DER DINGE IN DER INDUSTRIE • HOCHLEISTUNGS-INTERNET-KONNEKTIVITÄT FÜR STARK FREQUENTIERTER UMGEBUNGEN
5G/6G-MOBILFUNK (TERRESTRISCH, DRAHTLOS)	<ul style="list-style-type: none"> • HÖHERER DURCHSATZ • MEHR VERNETZTE GERÄTE • HÖHERE SPEKTRALE EFFIZIENZ • BESSERE DIENSTQUALITÄT • MEHR SICHERHEIT • NIEDRIGERE LATENZ 	<ul style="list-style-type: none"> • ULTRA-HD-VIDEOSTREAMING • FERNCHIRURGIE UND TELEMEDIZIN • NICHT-TERRESTRISCHE 6G- NETZE
ERDNAHE SATELLITENKONSTELLATIONEN (EXTRATERRESTRISCH, DRAHTLOS)	<ul style="list-style-type: none"> • ERHÖHTE REICHWEITE • NIEDRIGERE LATENZ (IM VERGLEICH ZU ANDEREN WELTRAUMGESTÜTZTEN LÖSUNGEN) 	<ul style="list-style-type: none"> • KONNEKTIVITÄT IN DER SCHIFFFAHRT UND LUFTFAHRT • GLOBALE KONNEKTIVITÄT FÜR AUTONOME FAHRZEUGE

Im Anschluss werden die Auswirkungen und die wichtigsten Unsicherheiten und Herausforderungen der digitalen Kommunikation für die einzelnen Kategorien beleuchtet:

— **IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Die allgemeine Lebensqualität könnte durch allgegenwärtige Konnektivität und eine deutlich höhere Dienstqualität verbessert werden. Dies ermöglicht es Einzelpersonen beispielsweise, aus der Ferne zu arbeiten, auf bandbreitenintensive Dienste zuzugreifen und Inhalte in höherer Qualität zu streamen. Darüber hinaus wird Konnektivität eine Schlüsselrolle bei der Behandlung chronischer Krankheiten spielen, da sie die Überwachung von Patientinnen und Patienten zu Hause mittels vernetzter medizinischer Geräte ermöglicht. Schliesslich könnte ein grosser Teil der Weltbevölkerung dank neuer Konnektivitätstechnologien erstmalig Zugang zum Internet erhalten.
- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Inwieweit wird der dramatische Anstieg der Konnektivität soziale und kulturelle Auswirkungen haben, auch für Menschen, die vorher keinen Internetzugang hatten?

— **IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Die digitale Konnektivität ist ein wichtiger Wegbereiter für revolutionäre Möglichkeiten, die von einer hochwertigen Konnektivität abhängen. So kann beispielsweise durch Edge- und Cloud-Computing-Technologien in Verbindung mit hoch entwickelter Konnektivität das volle Potenzial der Computernutzung der nächsten Generation für Konsumentinnen und Konsumenten sowie für die Wirtschaft voll ausgeschöpft werden. Mithilfe des Internets der Dinge könnten Logistikdienstleister Produkte verfolgen und zurückverfolgen und so die Lieferketten optimieren und die operative Effizienz insgesamt verbessern. Ein hochwertiger Netzzugang könnte selbst in abgelegenen Gebieten selbstfahrende vernetzte und mit vielfältigen Funktionen ausgestattete Fahrzeuge ermöglichen.
- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wie kann die doppelte Herausforderung einer Überlastung des elektromagnetischen Spektrums durch zu viele Signale und der steigenden Nachfrage nach drahtloser Kommunikation bewältigt werden? Wie könnte sich die technische Architektur von Computersystemen durch neue Konnektivitätstechnologien (z. B. Cloud Computing, Edge Computing) weiterentwickeln? Welche Aspekte von Anwendungsszenarien sollten durch fortschrittliche Konnektivitätsmethoden (5G, 6G, Satellitenkommunikation) angegangen werden, und welche Anwendungsszenarien können durch kosteneffizientere herkömmliche Ansätze (z. B. 4G) abgedeckt werden?

— **IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Als wichtiger Wegbereiter zahlreicher neuer Technologien könnte die digitale Konnektivität einen überragenden wirtschaftlichen Einfluss haben. Schätzungen zufolge könnte sie allein in den Sektoren Mobilität, Gesundheitswesen, Fertigung und Einzelhandel das Bruttowertprodukt um 1,2 bis 2 Billionen US-Dollar steigern. Die Lösungen für das Internet der Dinge tragen ausserdem dazu bei, die Produktivität zu steigern, den Energieverbrauch zu senken und die Gesamtkosten in Produktionsstätten zu reduzieren.
- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wie wird sich die fragmentierte Nachfrage in vielen kleinen Anwendungsszenarien auf die wirtschaftliche Tragfähigkeit von Angeboten der digitalen Konnektivität auswirken? Inwiefern beeinflusst die hohe Kapitalintensität fortschrittlicher Konnektivitätstechnologien (z. B. 5G, 6G, Satellitenkommunikation) deren wirtschaftliche Tragfähigkeit? Welche neuen Marktakteure könnten zu Konnektivitätsanbietern werden (z. B. klassische Telekommunikationsunternehmen vs. Technologieunternehmen)?

— **IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Lösungen für das Internet der Dinge, die durch digitale Konnektivitätstechnologien ermöglicht werden, könnten die Effizienz steigern und den Energieverbrauch in der gesamten Wertschöpfungskette in einer Vielzahl von Sektoren senken und so einen erheblichen positiven Einfluss auf die Umwelt haben.
- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Welche Nettoauswirkungen auf das Klima haben die Konnektivitätstechnologien im Hinblick auf die für ihre Herstellung benötigten Ressourcen im Vergleich zu den durch sie ermöglichten Energieeinsparungen und Effizienzsteigerungen?

— **IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Länder des Globalen Südens könnten in Zukunft erheblich von fortschrittlichen Konnektivitätstechnologien und einer kostengünstigen globalen Netzabdeckung profitieren.
- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wie können Bedenken hinsichtlich Datenschutz, Vertraulichkeit, Integrität und Sicherheit berücksichtigt werden? Können die unterschiedlichen Interessengruppen (z. B. öffentliche Infrastrukturbehörden, Automobilindustrie, Technologiebranche) effektiv zusammenarbeiten, um die notwendige Regulierung und Standardisierung zu gewährleisten?

SCHWACHE SIGNALE:

- › **Deere & Co.** kooperiert mit SpaceX, um über Starlink Internetverbindungen in ländlichen Gebieten der USA und Brasiliens bereitzustellen.
- › **GM** kooperiert mit **AT&T**, um mehrere Fahrzeugmodelle mit 5G-Mobilfunktechnologie auszustatten. Ziel ist die Steigerung der Übertragungsgeschwindigkeiten zur Verbesserung von Softwareleistung, Navigation und Medienstreaming.
- › **Dreamworld AR** -up, entwickelt ein leichtes Headset mit verbesserter Auflösung und 5G-Konnektivität, das sich mühelos mit verschiedenen Geräten verbinden lässt.
- › Das ukrainische Start-up **nect World** stellt ein schlankes, tragbares Modem vor, das überall schnelles Internet bietet.
- › **Omnispace** und **Lacuna** haben eine Zusammenarbeit zur Bereitstellung eines globalen LoRaWAN®-Dienstes für das Internet der Dinge angekündigt.

WECHSELWIRKUNGEN MIT ANDEREN TRENDS:

- › **Data Science und KI:** Die zunehmende Konnektivität wird in Zukunft zu einem exponentiellen Anstieg der erzeugten Datenmengen beitragen. KI-Methoden können zur Verbesserung von 6G-Diensten eingesetzt werden, zum Beispiel durch intelligente Netze und die Verwaltung der Frequenznutzung.
- › **Immersive Technologien:** Die digitale Konnektivität ist eine Schlüsseltechnologie für cloud-basierte immersive Technologien, z. B. für tragbare, hochauflösende immersive Headsets.
- › **Quantentechnologien:** Keine. Quantenverschlüsselungs- und -entschlüsselungstechnologien (Quantencomputing) könnten sowohl Sicherheitsverbesserungen bieten als auch Sicherheitsrisiken bergen.
- › **Sensortechnologien:** Die digitale Konnektivität ist eine Grundlagentechnologie für künftige allgegenwärtige Sensornetzwerke.
- › **Neue Raumfahrttechnologien:** Weltraumgestützte Dienste sind ein zentraler Bestandteil digitaler Konnektivitätstechnologien. Digitale Konnektivitätsmethoden könnten zudem für Weltraumanwendungen (z. B. Erkundungsmissionen) von Nutzen sein.

- › **Neue Werkstoffe und digitale Produktion:** Die digitale Konnektivität ist eine Eckpfeilertechnologie für digitale Produktionsmethoden, beispielsweise das industrielle Internet der Dinge.
- › **Erneuerbare Energien und Resilienz:** Die digitale Konnektivität kann intelligente Stromnetze (Smart Grids) ermöglichen. Zudem kann sie den Energieverbrauch senken, z. B. in der Industrie.
- › **Human-Enhancement-Technologien:** Digitale Konnektivität ist eine Schlüsseltechnologie für Human-Enhancement-Technologien, in denen Kommunikation und Vernetzung eine Rolle spielen.
- › **Cyber-Technologien:** Digitale Konnektivitätstechnologien sind zweifellos der wichtigste Teil des Cyberspace, da sie die Mittel für die Verbindung zwischen seinen einzelnen Bestandteilen bereitstellen.
- › **Robotik und autonome Systeme:** Bei Roboteranwendungen, an denen mehrere Roboter beteiligt sind (z. B. Roboter-schwärme), ist Konnektivität von entscheidender Bedeutung.

WECHSELWIRKUNGEN MIT MEGATRENDS:

- › **Veränderung der Arbeitswelt:** Eine verbesserte Konnektivität könnte aktuelle Trends wie die Telearbeit weiter beschleunigen.
- › **Sicherheitsverständnis im Wandel:** Die zunehmende Konnektivität könnte ein Risiko für die Datensicherheit darstellen.
- › **Fortschreitende Urbanisierung:** Die digitale Konnektivität könnte für Smart-City-Infrastrukturen eine Schlüsselrolle spielen.
- › **Diversifizierung von Bildung und Lernen:** Die digitale Konnektivität könnte neue Bildungs- und Lernansätze ermöglichen, etwa durch Fernunterricht mit Augmented Reality oder Virtual Reality.
- › **Wachsender Einfluss von Ost und Süd:** Länder des Globalen Südens könnten in Zukunft erheblich von fortschrittlichen Konnektivitätstechnologien und einer kostengünstigen globalen Netzabdeckung profitieren.
- › **Gesundheit im Wandel:** Es gibt bedeutende Anwendungsmöglichkeiten der Konnektivität im medizinischen Bereich, beispielsweise durch vernetzte medizinische Geräte, die Patienten mit chronischen Krankheiten in Echtzeit überwachen können.

REFERENZEN UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

- Gallager, R., «Principles of Digital Communications I» [Grundlagen der digitalen Kommunikation I], MIT OpenCourseWare, Kursunterlagen, 2006, https://ocw.mit.edu/courses/6-450-principles-of-digital-communications-i-fall-2006/resources/book_1/
- Grami, A., «Introduction to Digital Communications» [Einführung in die digitale Kommunikation], Elsevier, Buch, 2016, <https://svbitec.files.wordpress.com/2020/03/introductiontodigitalcommunications2015.pdf>
- Grijpink, F., «The key barriers to realizing advanced connectivity's full value» [Hauptbarrieren für die volle Ausschöpfung des Potenzials fortschrittlicher Konnektivität], McKinsey & Co., Blogbeitrag, 2020, <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/digital-blog/the-key-barriers-to-realizing-advanced-connectivitys-full-value>
- Andrusenko, J. et al., «Future Trends in Commercial Wireless Communications and Why They Matter to the Military» [Zukünftige Trends in der kommerziellen drahtlosen Kommunikation und warum sie für das Militär von Bedeutung sind], Johns Hopkins APL Technical Digest, Band 33(1), 2015, <https://secwww.jhuapl.edu/techdigest/Content/techdigest/pdf/V33-N01/33-01-Andrusenko.pdf>
- Grijpink, F. et al., «Connected world: An evolution in connectivity beyond the 5G revolution» [Vernetzte Welt: Weiterentwicklung der Konnektivität jenseits der 5G-Revolution], McKinsey Global Institute, Diskussionspapier, 2020, https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/technology%20media%20and%20telecommunications/telecommunications/our%20insights/connected%20world%20an%20evolution%20in%20connectivity%20beyond%20the%205g%20revolution/mgi_connected-world_discussion-paper_february-2020.pdf
- Akyildiz, I. F. et al., «6G and Beyond: The Future of Wireless Communications Systems» [6G und darüber hinaus: Die Zukunft drahtloser Kommunikationssysteme], IEEE Access, Bd. 8, S. 133995-134030, 2020, <https://ianakyildiz.com/wp-content/uploads/2021/09/6G-and-Beyond-The-Future-of-Wireless-Communications-Systems.pdf>
- Trendmanager-Tool von Trendone, letzter Zugriff am 21.03.2024, <https://www.trendmanager.com/>

2.11

ROBOTIK UND AUTONOME SYSTEME

INTELLIGENTE MASCHINEN ARBEITEN FÜR
UND MIT MENSCHEN

BESCHREIBUNG:

Autonomie ist die Fähigkeit eines Systems, auf unsichere Situationen zu reagieren, indem es auf der Grundlage von Wissen und einem kontextuellen Verständnis der Welt, seiner selbst und der jeweiligen Situation eigenständig verschiedene Handlungsoptionen zusammenstellt und auswählt, um seine Ziele zu erreichen. Die Autonomie ist durch verschiedene Grade des selbstgesteuerten Verhaltens (Autonomiegrade) gekennzeichnet, die von vollständig manuell bis zu vollständig autonom reichen. Die **Robotik** befasst sich mit der Entwicklung und Konstruktion autonomer Systeme, die alle Autonomiegrade abdecken, einschliesslich solcher mit vollständiger menschlicher Kontrolle.

Robotiksysteme und autonome Systeme werden hauptsächlich für die sogenannten vier Ds der Robotik eingesetzt, also um monotone (dull), gefährliche (dangerous), schmutzige (dirty) und kritische (dear) Aufgaben zu übernehmen.

Monotone Aufgaben sind beispielsweise repetitive und ermüdende Tätigkeiten. Diese können von Fertigungsprozessen über die Dateneingabe bis hin zur Logistik reichen. Ein Beispiel wäre der Einsatz autonomer Fahrzeuge in der Logistik, in Lagerhäusern oder in der Landwirtschaft. Der Einsatz von Robotik und autonomen Systemen für diese Aufgaben redu-

ziert den Bedarf an menschlicher Arbeitskraft und die damit verbundenen Kosten.

Schmutzige und gefährliche Arbeiten umfassen den Umgang mit gefährlichen Substanzen, die Arbeit unter unhygienischen Bedingungen sowie allgemein Tätigkeiten, welche die Gesundheit oder körperliche Unversehrtheit von Menschen gefährden. In Fabriken können beispielsweise autonome Roboter Aufgaben übernehmen, die den Umgang mit giftigen oder gefährlichen Stoffen beinhalten. Autonome Roboter können zudem unterirdische Tunnel zur Rohstoffgewinnung erkunden oder in Katastrophengebieten Rettungseinsätze durchführen.

Kritische Aufgaben sind solche, bei denen man sich keinen Fehler leisten kann. Wenn sie effektiv eingesetzt werden, können Robotiksysteme und autonome Systeme menschliche Fehler in diesen Bereichen eliminieren sowie gleichzeitig Kosten senken und die Effizienz steigern. Als Beispiele für solche Aufgaben wären autonome Transportmittel, Verteidigung und Sicherheit sowie medizinische Eingriffe, etwa robotergestützte Operationen, zu nennen.

Die Funktionen von Robotiksystemen lassen sich in folgende Hauptkategorien einteilen: Wahrnehmen (z. B. Sensorik und Umgebungserfassung), Planen (z. B. Situationsbewertung,

Entscheidungsfindung, Steuerung) und Handeln (z. B. Bewegungsausführung, Manipulation, Fortbewegung). Autonome Systeme und Robotersysteme können diese Aufgaben mit unterschiedlichen Autonomiegraden ausführen. Die Autonomie von Robotern kann entlang eines Spektrums eingeteilt werden, abhängig davon, welche der betreffenden Funktionen automatisiert sind und in welchem Umfang. Ein typisches Klassifikationsmodell unterscheidet fünf Autonomiegrade:

- **Ferngesteuert** – Ein Mensch bleibt am Hebel und trifft alle Entscheidungen.
- **Einfache Automatisierung** – Bestimmte Automatisierungstechniken werden eingesetzt, um die Arbeitsbelastung der Bedienperson zu reduzieren.
- **Fernbedient** – Die Bedienperson überlässt den Bordsystemen die Steuerung und entscheidet nur, wann sich das System wohin bewegen soll und welche Aufgaben es dort ausführen soll.
- **Hochautomatisierte** bzw. teilautonome Systeme – Diese Systeme können komplexe Aufgaben ausführen, ihre Umgebung verstehen, ihre Mission dynamisch anpassen, erfordern nur begrenzte menschliche Überwachung und reagieren auf Fehler und Änderungen.
- **Vollautonome Systeme** – Solche Systeme führen Aufgaben ausgehend von übergeordneten Zielvorgaben aus und

verfügen über umfassende Situationswahrnehmung, Prognostik und Entscheidungskompetenz, ganz ohne menschliches Eingreifen.

In Zukunft werden immer mehr anspruchsvolle Aufgaben aus den vier D-Kategorien mit einem zunehmend höheren Autonomiegrad ausgeführt werden. Der Autonomiegrad, mit dem eine bestimmte Aufgabe beim jeweiligen Anwendungsszenario bewältigt wird, hängt von den spezifischen Missionsanforderungen, den technischen Möglichkeiten und Einschränkungen sowie den geltenden rechtlichen und politischen Rahmenbedingungen ab. Hierbei wird die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine eine zentrale Rolle spielen.

Die zunehmende Realisierbarkeit von Robotersystemen und autonomen Systemen wird sowohl durch technologische Faktoren als auch durch weitere Faktoren vorangetrieben, die alle drei zentralen Funktionsbereiche der Robotik betreffen: billigere und kleinere Sensoren, beweglichere, leistungsfähigere, kleinere und billigere Aktoren sowie Fortschritte bei der Datenverarbeitung, Autonomie und der künstlichen Intelligenz. Diese technologischen Fortschritte ermöglichen eine bessere autonome Entscheidungsfindung, Situationsbewertung und Planung durch Roboter.

AUSWIRKUNGEN UND DIE WICHTIGSTEN UNSICHERHEITEN UND HERAUSFORDERUNGEN:

Die nachstehende Tabelle enthält eine Zusammenfassung der Funktionen, die durch die Nutzung von Robotik und autonomen Systemen in der Regel zur Verfügung gestellt werden, sowie der Wirkungskennzahlen, die sich für diese Funktionen voraussichtlich verbessern werden, gefolgt von Beispielanwendungen, die durch solche Verbesserungen möglich würden.

ÜBERGEORDNETE KATEGORIEN VON ROBOTIK UND AUTONOMEN SYSTEMEN	MÖGLICHE ZUKÜNFTIGE VERBESSERUNGEN	MÖGLICHE ANWENDUNGSBEISPIELE
MONOTONE AUFGABEN	<ul style="list-style-type: none"> • VERRINGERUNG DES ARBEITSAUFWANDS • STEIGERUNG DER PRODUKTIONSFLEXIBILITÄT 	<ul style="list-style-type: none"> • FERTIGUNG • LAGERLOGISTIK • WACHDIENST
SCHMUTZIGE UND GEFÄHRLICHE AUFGABEN	<ul style="list-style-type: none"> • VERRINGERUNG DER GESUNDHEITSRISIKEN DURCH MENSCHLICHE ARBEIT • SENKUNG DER NEBENKOSTEN • ERMÖGLICHUNG BISHER NICHT DURCHFÜHRBARER ANWENDUNGSSZENARIEN 	<ul style="list-style-type: none"> • SUCH- UND RETTUNGSOPERATIONEN • ERKUNDUNG UND BERGBAU UNTER TAGE
KRITISCHE AUFGABEN	<ul style="list-style-type: none"> • REDUZIERUNG MENSCHLICHER FEHLER BEI KOSTSPIELIGEN ANWENDUNGEN • REDUZIERUNG DES RISIKOS FÜR MENSCHLICHES LEBEN 	<ul style="list-style-type: none"> • FERTIGUNG • MEDIZINISCHE ANWENDUNGEN, Z. B. AUTOMATISIERTE CHIRURGIE • SICHERHEITSANWENDUNGEN UND MILITÄRISCHE ANWENDUNGEN • LABORAUTOMATISIERUNG

Im Anschluss werden die Auswirkungen und die wichtigsten Unsicherheiten und Herausforderungen von Robotik und autonomen Systemen für die einzelnen Kategorien beleuchtet:

— **IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Robotiksysteme und autonome Systeme werden den Arbeitsmarkt tiefgreifend verändern. Die Nachfrage nach monotonen, schmutzigen, gefährlichen und kritischen Tätigkeiten wird voraussichtlich im Laufe der Zeit zurückgehen. Gleichzeitig entstehen jedoch neue Arbeitsplätze im Bereich von Robotik und autonomen Systemen, die mit der Entwicklung, Programmierung, Konzeption und Wartung solcher Systeme zusammenhängen. Die Zusammenarbeit von Mensch und Robotiksystemen sowie autonomen Systemen wird zudem die Art und Weise, wie Arbeiten ausgeführt werden, grundlegend verändern. Insgesamt können Robotiksysteme und autonome Systeme ein hohes Potenzial an gesellschaftlichen Vorteilen wie etwa erhöhte Sicherheit, bessere Lebensqualität und Kosteneinsparungen bieten.
- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wie werden sich Robotik und autonome Systeme auf die Beschäftigung auswirken? Wie wird der gesellschaftliche Nutzen von Robotik und autonomen Systemen sozial verteilt? Wie können Herausforderungen (z. B. erhöhte kognitive Belastung, Schulungsbedarf und veränderte Arbeitsgewohnheiten) bei der Mensch-Maschine-Kollaboration bewältigt werden? Welche ethischen Fragestellungen könnten insbesondere bei Verteidigungs- und Sicherheitsanwendungen entstehen und wie lassen sich diese lösen?

— **IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Fortschritte bei Robotik und autonomen Systemen werden zahlreiche Branchen beeinflussen. Bereits heute sind Industrieroboter in vielen Produktionssektoren weit verbreitet. Leistungsfähigere Roboter können künftig menschliche Arbeitskräfte ersetzen, beispielsweise in der Landwirtschaft. Auch der Transport- und Logistiksektor steht durch automatisiertes Fahren vor erheblichen Umwälzungen, nicht zuletzt durch Fortschritte hin zu einer zuverlässigen Autonomie. Im Gesundheitswesen umfassen Anwendungen unter anderem Assistenzsysteme für chirurgische Eingriffe, Krankenhauslogistik, Patientenrehabilitation und Langzeitpflege. In militärischen Anwendungen können sich Robotiksysteme und autonome Systeme auf das Gefechtsfeld (z. B. zur Unterstützung von Soldaten, zur Zielerfassung und als Waffenplattformen), auf die operative Unterstützung (z. B. Logistik und Planung) sowie auf die Nachrichtengewinnung und Aufklärung auswirken.
- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Kann die für bestimmte Anwendungen (z. B. im Verkehrswesen) erforderliche sehr hohe Zuverlässigkeit automatisierter und autonomer Systeme erreicht werden? Welches Mass an Autonomie wird für viele dieser Anwendungen erforderlich sein, und welche Rolle wird der Mensch in diesen Systemen spielen?

— **IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Die oben genannten Verbesserungen werden dramatische Auswirkungen haben. Durch die Erledigung monotoner Aufgaben könnten die Gesamtarbeitskosten drastisch gesenkt und menschliche Arbeitskraft für produktivere Aufgaben freigesetzt werden. Bei der Durchführung von schmutzigen und gefährlichen Aufgaben schützen Roboter das Humankapital und vermeiden die mit solchen Arbeiten verbundenen Kosten zur Minderung und Handhabung der Risiken. Mit der Ausführung kritischer Aufgaben reduzieren sie die Kosten, die mit folgenschweren, vom Menschen verursachten Fehlern verbunden sind, und schaffen zugleich einen Mehrwert, indem sie die Durchführung einer grösseren Anzahl dieser kritischen Aufgaben ermöglichen.
- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Werden bestimmte Anwendungsszenarien für Robotik und autonome Systeme wettbewerbsfähig sein, und mit welchen Autonomiegraden? Wie werden Technologieunternehmen die etablierten Unternehmen in ihren jeweiligen Sektoren ins Wanken bringen?

— **IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Autonome Systeme und Robotiksysteme werden die Umweltbilanz in verschiedenen Sektoren auf unterschiedliche Weise beeinflussen. Autonome Systeme können bei einigen Umweltproblemen von grossem Nutzen sein, z. B. bei der Reinigung der Ozeane von Mikroplastik und bei der Überwachung und Bekämpfung von Waldbränden. Andererseits könnte der erhöhte Bedarf an Ressourcen und Energie zur Unterstützung dieser Systeme einen negativen Nettoeffekt haben.
- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wie werden sich die Energie- und Ressourceneffizienz von Robotik und autonomen Systemen entwickeln? Gibt es realisierbare und praxisnahe Anwendungsszenarien?

— **IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:**

- **Auswirkungen:** Robotiksysteme und automatisierte Systeme im Militär- und Sicherheitssektor könnten erhebliche Auswirkungen auf die strategische Stabilität haben und Kriege mehr oder weniger wahrscheinlich machen. Mit der zunehmenden Verbreitung autonomer Fahrzeuge und Plattformen steigt die Menge der gesammelten Nutzerdaten, was weitreichende Konsequenzen für Datenschutz und Datensicherheit mit sich bringt.
- **Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:** Wie werden Datenerfassung, Datenschutz und Datensicherheit reguliert? Inwiefern beeinflussen unterschiedliche Regulierungsgrade die Realisierbarkeit bestimmter Anwendungsszenarien?

SCHWACHE SIGNALE:

- › Automobilhersteller und Technologieunternehmen kooperieren bei der Entwicklung von selbstfahrender Technologie.
- › Das chinesische Start-up **Unitree** entwickelt einen auf ChatGPT basierenden Roboterhund.
- › **Airbus** arbeitet an einem Pilotsystem zur Unterstützung in Notfallsituationen während des Fluges.
- › **BotBuilt**, ein US-amerikanisches Start-up, entwickelt eine bahnbrechende Technologie zur Automatisierung des Hausbaus.
- › Die **University of North Carolina at Chapel Hill** [Universität von North Carolina - Chapel Hill] entwickelt eine autonome Roboter-Nadel für medizinische Anwendungen.

WECHSELWIRKUNGEN MIT ANDEREN TRENDS:

- › **Data Science und KI:** Der verstärkte Einsatz intelligenter, weit verteilter, allgegenwärtiger, kostengünstiger, vernetzter Sensoren und autonomer Entitäten (physisch oder virtuell) wird zu einem exponentiellen Anstieg der erzeugten Datenmengen führen. Methoden der Data Science und der künstlichen Intelligenz können von diesem Datenreichtum profitieren und deren Analyse ermöglichen.
- › **Immersive Technologien:** Immersive Technologien werden an jeder Schnittstelle der Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter ein zentrales Element sein.
- › **Quantentechnologien:** Quantencomputing könnte für Planungs-, Entscheidungsfindungs- und Optimierungsprobleme in der Robotik und Autonomie bedeutsam werden.
- › **Sensortechnologien:** Neue Robotik-Plattformen und autonome Plattformen werden mit weit verteilten, allgegenwärtigen, kostengünstigen und vernetzten Sensoren ausgestattet sein und somit eine Vielzahl von Anwendungen ermöglichen.
- › **Neue Raumfahrttechnologien:** Neue Raumfahrttechnologien sind für die Infrastruktur, die für die Anwendung von Robotik und autonomen Systemen erforderlich ist, von entscheidender Bedeutung, etwa für die Ortung, Navigation und Steuerung im industriellen Internet der Dinge. Robotiksysteme und autonome Systeme im Weltraum können zahlreiche kritische Anwendungsszenarien ermöglichen, darunter die Wartung von Satelliten im Orbit oder die Beseitigung von Weltraumschrott.
- › **Neue Werkstoffe und digitale Produktion:** Robotiksysteme und autonome Systeme sind für zukünftige Fertigungsmethoden und -konzepte von zentraler Bedeutung, insbesondere im Kontext von Industrie 4.0. Neuartige Werkstoffe können innovative Anwendungsszenarien für Robotiksysteme ermöglichen.
- › **Erneuerbare Energien und Resilienz:** Hochgradig au-

tonome Prozesse können beispielsweise zur Steigerung der Effizienz bei der Steuerung der Energieproduktion und -verteilung eingesetzt werden. Robotiksysteme können über den gesamten Lebenszyklus erneuerbarer Energiesysteme hinweg von Nutzen sein – von der Produktion über den Betrieb bis hin zur Wartung.

- › **Human-Enhancement-Technologien:** Robotiksysteme und autonome Systeme werden als Hilfssysteme für Technologien zur Verbesserung der menschlichen Fähigkeiten (Human-Enhancement-Technologien) voraussichtlich eine zentrale Rolle spielen. Letztere werden zudem eine Schlüsseltechnologie für Methoden der Mensch-Roboter-Schnittstelle sein.
- › **Cyber-Technologien:** Autonome Systeme und Robotiksysteme sind ein integraler Bestandteil der Cyber-Domäne.
- › **Digitale Kommunikation:** Digitale Kommunikation wird eine zentrale Rolle bei der Kommunikation spielen, beispielsweise in verteilten Robotiksystemen und Systemen für ferngesteuerte Betriebsvorgänge.

WECHSELWIRKUNGEN MIT MEGATRENDS:

- › **Zunehmende Ressourcenknappheit und wachsender Konsum:** Robotiksysteme und autonome Systeme werden eine Steigerung der Produktion von Produkten und Ressourcen ermöglichen.
- › **Veränderung der Arbeitswelt:** Robotiksysteme und autonome Systeme sind eine der Haupttriebkraft dieses Megatrends und werden eine Umschulung und Höherqualifizierung der Arbeitskräfte erfordern.
- › **Sicherheitsverständnis im Wandel:** Robotiksysteme und autonome Systeme werden beim Sicherheitsverständnis der Zukunft eine Schlüsselrolle übernehmen, indem sie Überwachungsfähigkeiten erweitern und schnelle Reaktionen auf Bedrohungen ermöglichen. Sie werden aber auch neue Herausforderungen mit sich bringen, wie Cyber-Sicherheitsrisiken und ethische Dilemmata.
- › **Fortschreitende Urbanisierung:** Autonome Transportsysteme werden für zunehmend urbanisierte Gesellschaften von entscheidender Bedeutung sein.
- › **Zunehmende Ungleichheiten:** Die Ersetzung vieler Arbeitsplätze durch Robotiksysteme und autonome Systeme und die zunehmend wichtige Rolle von Maschinen in der Produktion im Vergleich zur menschlichen Arbeit könnten diesen Trend verstärken.
- › **Zunehmender Einfluss neuer Regierungssysteme:** Robotiksysteme und autonome Systeme könnten für repressive Zwecke eingesetzt werden.
- › **Gesundheit im Wandel:** Neuartige Robotik in der Medizin und in der Pflege könnte dazu beitragen, diese Herausforderungen zu bewältigen.

REFERENZEN UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

- Reding, D.F. et al., «Science & Technology Trends 2020-2040» [Wissenschafts- und Technologietrends 2020–2040], NATO Science & Technology Organisation, Bericht, 2020, https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2020/4/pdf/190422-ST_Tech_Trends_Report_2020-2040.pdf
- Beer, J. M. et al., «Toward a framework for levels of robot autonomy in human-robot interaction» [Entwicklung eines Rahmenwerks für die Autonomiegrade von Robotern in der Mensch-Roboter-Interaktion], Journal of Human-Robot Interaction, Band 3(2), Seiten 74-99, 2014, <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.5898/JHRI.3.2.Beer>
- Langefeld, B. et al., «Rise of the machines - How robots and artificial intelligence are shaping the future of autonomous production» [Aufstieg der Maschinen – Wie Roboter und künstliche Intelligenz die Zukunft der autonomen Produktion gestalten], Roland Berger, Bericht, 2019, https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_autonomous_production_rise_of_the_machines.pdf
- Bowers, J. et al., «2022 Emerging technology trends, market and legal insights for innovators» [2022: Aufkommende Technologietrends, Markt- und Rechtseinblicke für Innovatoren], Perkins Coie LLP, Bericht, 2022, <https://www.perkinscoie.com/images/content/2/5/250469/2022-Emerging-Tech-Trends-Report.pdf>
- Trendmanager-Tool von Trendone, letzter Zugriff am 21.03.2024, <https://www.trendmanager.com/>

Megatrends

Während technologische Fortschritte Einblicke in zukünftige Möglichkeiten gewähren, zeichnet sich im Hinblick auf umfassendere gesellschaftliche oder ökologische Veränderungen ein komplexeres Bild ab. Megatrends werden aufgrund ihres starken Einflusses dieses Bild langfristig mitprägen. Diese Faktoren bestimmen zusammen die Richtung der globalen Entwicklung. Sie repräsentieren grundlegende Veränderungen in Verhalten, Werten und Normen und beeinflussen zahlreiche Aspekte des menschlichen Lebens, der Geopolitik und organisatorischer Strukturen. Daher ist es für die strategische Planung von entscheidender Bedeutung, diese Megatrends zu verstehen. Im Gegensatz zu Mikrotrends, wie beispielsweise Moden oder vorübergehende Vorlieben, sind Megatrends dauerhafter und stärker miteinander verbunden. Sie sind die Grundströmungen, welche die Zukunft gestalten.

Für die Szenarioplanung ist die Einbeziehung von Megatrends von erheblichem Nutzen. Durch Berücksichtigung dieser langfristigen Einflussfaktoren kann ein breiteres Spektrum möglicher Zukunftsszenarien untersucht werden. Dies ermöglicht es Unternehmen, nicht nur den wahrscheinlichsten Entwicklungspfad zu antizipieren, sondern auch mit potenziellen Disruptionen und unvorhergesehenen Herausforderungen zurechtzukommen, die ihr operatives Umfeld grundlegend verändern könnten.

In diesem Abschnitt wird der Megatrends-Hub der Europäischen Kommission als Referenz für die Kategorisierung herangezogen. Der Megatrend «Beschleunigung des technologischen Wandels und Hyperkonnektivität» wurde ausgelassen, da der Abschnitt zu Technologietrends ein breiteres Themenspektrum abdeckt als dieser einzelne Megatrend. «Woke Culture» ist ein Megatrend, der im Verzeichnis der Makrotrends von Trendone Trend Manager identifiziert wurde. Aufgrund der kontroversen

Konnotation des Begriffs «Woke» wurde er jedoch in «Diversity-Aware Culture» [Diversitätsbewusste Kultur] umbenannt. Daher beläuft sich die Anzahl der behandelten Megatrends auf abschliessend vierzehn.

Diese Megatrends lassen sich in drei übergeordnete Kategorien einteilen:

- Sozioökonomische Trends: Diese Megatrends umfassen den Wandel in den Bereichen Demographie, Bildung, Arbeit und Ungleichheit.
- Umweltbezogene Trends: Diese Megatrends befassen sich mit Ressourcenknappheit, Klimawandel und Umweltzerstörung.
- Geopolitische Trends: Diese Megatrends spiegeln Veränderungen in der globalen Landschaft wider. Zu ihnen zählen das Aufstreben neuer mächtiger Staaten sowie die wachsende Bedeutung von Migration.

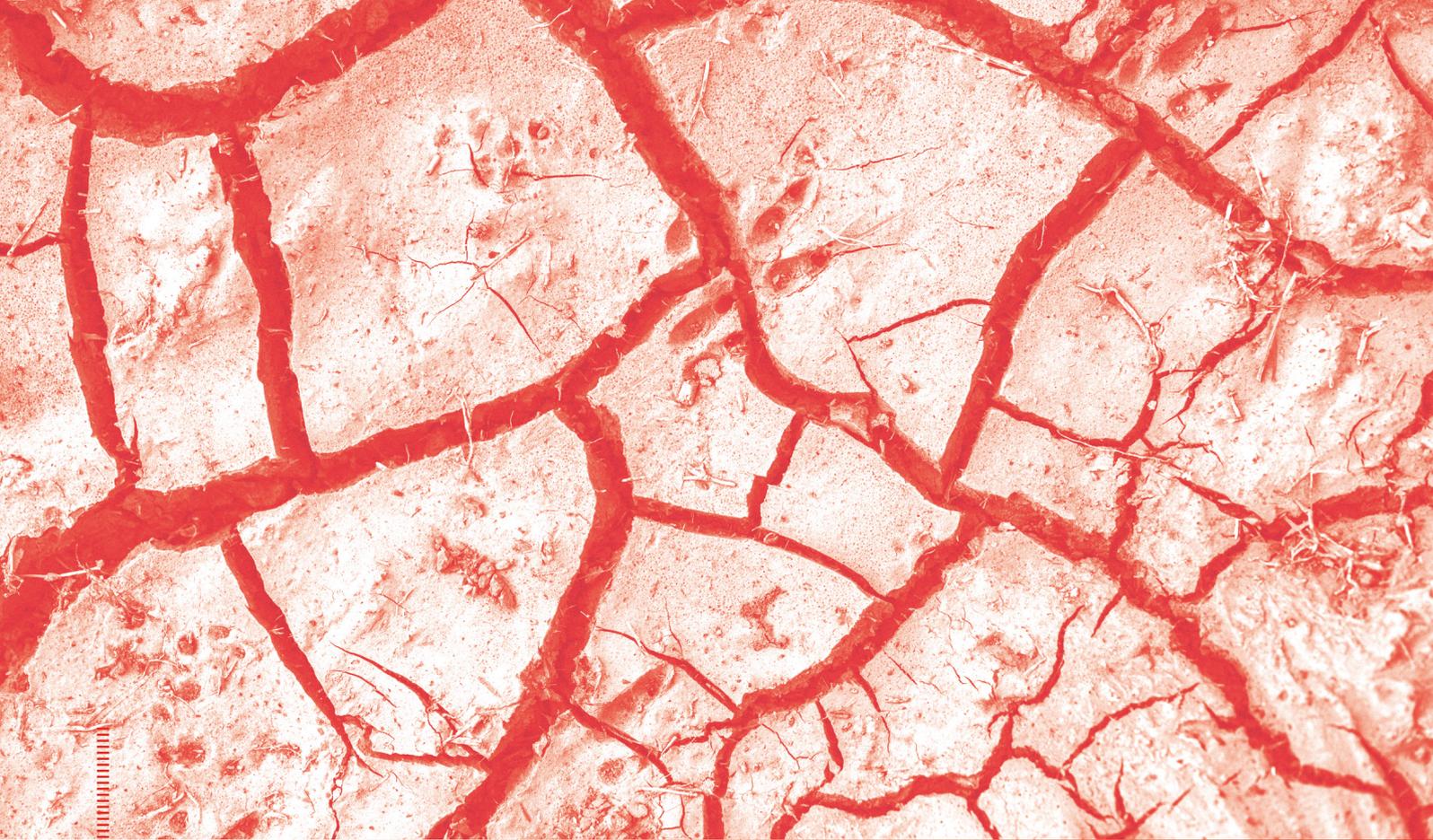
Für die Analyse der Megatrends wurde eine vereinfachte Version des Berichtsformats für Technologietrends verwendet. Jeder Megatrend wird zunächst definiert und beschrieben. Anschliessend wird die mögliche zukünftige Entwicklung sowohl in relativ naher Zukunft aber auch auf einen langen Zeithorizont hin betrachtet. Relevanz und Einfluss des jeweiligen Megatrends sowie die damit verbundenen Unsicherheiten und Herausforderungen werden anhand des STEEP-Frameworks (soziologische, technologische, wirtschaftliche, ökologische und politische Dimensionen) untersucht. Abschliessend werden die für den jeweiligen Megatrend erkennbaren schwachen Signale beschrieben.

Dabei sollte beachtet werden, dass dies lediglich einen Ausgangspunkt darstellt. Die eigentliche Aussagekraft ergibt sich aus der Analyse dieser Megatrends und ihrer Wechselwirkungen, insbesondere in Kombination mit den aufgezeigten Technologietrends.

Die folgenden Abschnitte enthalten einen Bericht zu jedem einzelnen Megatrend.

REFERENZEN UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

- OECD, «Megatrends affecting science, technology and innovation» [Megatrends, die sich auf Wissenschaft, Technologie und Innovation auswirken], in OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2016, Bericht, 2016, https://doi.org/10.1787/sti_in_outlook-2016-4-en



3.1

ZUNEHMENDE RESSOURCENKNAPPHEIT

EIN MISSVERHÄLTNIS ZWISCHEN DEM
MENSCHLICHEN KONSUM UND DEN ENDLICHEN
RESSOURCEN AUF DER ERDE

BESCHREIBUNG:

Der Bedarf an lebenswichtigen Ressourcen wie Wasser, Nahrung, Energie, Land und Mineralien nimmt rasant zu. Diese Entwicklung führt dazu, dass diese Ressourcen knapper und teurer werden, was wiederum weltweit Probleme nach sich zieht, unter anderem Wasserknappheit, Nahrungsmittelknappheit und Energiekrisen. Das menschliche Wohlergehen ist von bestimmten Ressourcen abhängig. Allerdings verfügt die Erde nur über begrenzte Kapazitäten und gerät zunehmend unter Druck, diese steigenden Anforderungen zu bewältigen. Diese Situation bringt uns an die Kapazitätsgrenzen unserer Erde und wirft Fragen zu unserem langfristigen Überleben auf. Dieser Trend zeichnet sich bereits seit vielen Jahrzehnten ab und hat sich in jüngster Zeit weiter beschleunigt. Dies unterstreicht die Dringlichkeit, die Ressourcennutzung effizienter zu gestalten.

In naher Zukunft (mehrere Jahre bis zu einem Jahrzehnt) wird die Welt mit Herausforderungen konfrontiert sein, die durch das Wachstum der Weltbevölkerung und der globalen Wirtschaft entstehen. Dies führt zu einem weiter steigenden Ressourcenbedarf. Insbesondere die USA und die EU-28 tragen erheblich zur globalen Übernutzung von Materialien bei, was die Notwendigkeit einer gerechteren Verteilung natürlicher Ressourcen noch dringlicher macht.

Andernfalls besteht die Gefahr politischer Instabilität, da Länder um den Zugang zu begrenzten Ressourcen konkurrieren. Menschliche Aktivitäten haben bereits 75% der Landflächen und 66% der Ozeane verändert. Diese Überschreitung der Kapazitätsgrenzen der Erde wirft ernsthafte Bedenken hinsichtlich der langfristigen Nachhaltigkeit der Ökosysteme auf. Die Wasserknappheit wird in ohnehin schon belasteten Regionen zunehmend kritischer und könnte die Konflikte über den Zugang zu und die Verteilung von Wasserressourcen verschärfen. Die Nahrungsmittelproduktion wird durch den Klimawandel und die Bodendegradation vor erhebliche Herausforderungen gestellt. Dies bedroht die Ernährungssicherheit insbesondere für vulnerable Bevölkerungsgruppen. Der Energiebedarf wird weiter steigen, mit Folgen für den Zugang zu Energie sowie für deren Bezahlbarkeit und ökologische Nachhaltigkeit. Die Bewältigung dieser Probleme erfordert innovative Lösungen sowie eine verstärkte Zusammenarbeit der verschiedenen Sektoren und Nationen.

Langfristig wird die nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen für das Überleben der Menschheit entscheidend sein. Kritische Ressourcen könnten knapper werden, was technologische Durchbrüche und Fortschritte in der Materialwissenschaft erforderlich macht. Internationale Kooperation ist gefragt, um Ungleichheiten beim Zugang zu Ressourcen wirksam zu steuern und anzugehen. Dies wird dazu beitragen, grössere geopolitische Spannungen im Wettbewerb um Ressourcen zu verhindern.

Im Anschluss werden die Auswirkungen einer sich verschärfenden Ressourcenknappheit für die einzelnen Kategorien beleuchtet:

— **IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:**

Im Bereich der soziokulturellen Dynamik könnte die zunehmende Ressourcenknappheit einen Wandel der gesellschaftlichen Werte herbeiführen. Einzelne könnten sich zunehmend dafür einsetzen, politische Entscheidungen und Verhaltensweisen so zu gestalten, dass ökologischen Auswirkungen mehr Gewicht verliehen wird als übermäßigem Konsum. Von solchen Massnahmen sind marginalisierte Gemeinschaften jedoch ungleich stärker betroffen. Die Auswirkungen der sich verschärfenden Ressourcenknappheit sind weltweit in allen Gesellschaften spürbar.

— **IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:**

Neue Technologien wie Blockchain und künstliche Intelligenz bieten potenzielle Lösungen für eine effizientere Ressourcennutzung. Innovationen in der urbanen und in der vertikalen Landwirtschaft zeigen neue Ansätze für das Ressourcenmanagement auf. Die additive Fertigung (3D-Druck) und das Recycling spielen eine entscheidende Rolle bei der Förderung nachhaltiger Produktionspraktiken. Um der Ressourcenknappheit jedoch wirksam begegnen zu können, müssen technologische Fortschritte mit umfassenderen gesellschaftlichen Veränderungen einhergehen.

— **IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:**

Mehr als 50% des globalen Bruttoinlandsprodukts sind direkt von der Natur abhängig. Steigende Rohstoffpreise, die auf die erhöhte Nachfrage zurückzuführen sind, beeinflussen das Wirtschaftswachstum und die globalen Handelsstrukturen. Dies unterstreicht die Notwendigkeit einer nachhaltigen Nutzung und gerechten Verteilung von Ressourcen. Um der Ressourcenknappheit entgegenzuwirken und den steigenden Nachhaltigkeitsanforderungen gerecht zu werden, integrieren Unternehmen zunehmend Umwelt-, Sozial- und Governance-Kriterien in ihre Geschäftstätigkeit.

— **IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:**

Menschliche Aktivitäten haben die Belastungsgrenzen der Erde bereits überschritten. Dies gibt Anlass zur Sorge um die langfristige Nachhaltigkeit der Ökosysteme. Über 90% der geförderten Rohstoffe werden verschwendet. Lediglich 8,6% davon verbleiben in der Kreislaufwirtschaft. Klimawandel und Bodendegradation bedeuten erhebliche Herausforderungen für die Nahrungsmittelproduktion und die Verfügbarkeit von Wasser und verschärfen die Ressourcenknappheit weiter. Massnahmen zum Schutz der Biodiversität und zur Umstellung auf resiliente Energiequellen zeigen das Engagement für Nachhaltigkeit trotz regulatorischer und wirtschaftlicher Hindernisse.

— **IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:**

Das Konzept der Global Governance entwickelt sich weiter, um Ressourcenprobleme in Angriff zu nehmen. Dies zeigte sich in Diskussionen auf Foren wie den Vereinten Nationen, die sich auf eine gerechtere Ressourcennutzung konzentrieren. Geopolitische Ereignisse, die sich auf die Verfügbarkeit fossiler Brennstoffe auswirken, führen die Bedeutung der Ressourcen- und Energieeffizienz regelmässig vor Augen. Diese Aspekte sind für geopolitische Strategien von ausschlaggebender Bedeutung, da der Wettstreit um knappe Ressourcen Spannungen und Konflikte verstärken könnte. Dies unterstreicht die Wichtigkeit der internationalen Zusammenarbeit.

Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:

— **IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:**

Wie wird sich eine veränderte gesellschaftliche Haltung zu Konsum und Nachhaltigkeit auf das Ressourcenmanagement auswirken? Werden suffizienzorientierte Verhaltensweisen auf breiter Ebene akzeptiert werden, oder werden die bestehenden Konsummuster weiterhin zur Ressourcenerschöpfung beitragen?

— **IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:**

Welche Rolle werden neue Technologien bei der Bekämpfung der Ressourcenknappheit spielen, und wie schnell können sie global implementiert werden? Welche unbeabsichtigten Folgen oder Einschränkungen könnten sich aus der Abhängigkeit von technologischen Lösungen zur Bewältigung der Ressourcenknappheit ergeben?

— **IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:**

Welche wirtschaftlichen Veränderungen sind notwendig, um nachhaltigen Konsum und eine gerechte Ressourcenverteilung zu fördern? Wie können Unternehmen Profitabilität mit ökologischer und sozialer Verantwortung in Einklang bringen, um der Ressourcenknappheit entgegenzuwirken?

— **IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:**

Wie werden sich Ökosysteme an die zunehmende Ressourcenerschöpfung und Umweltzerstörung anpassen? Welche langfristigen Folgen wird es für die Biodiversität und Ökosysteme geben, wenn es nicht gelingt, die Erschöpfung von Ressourcen zu stoppen?

— **IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:**

Welche geopolitischen Spannungen könnten sich aus dem Wettbewerb um knappe Ressourcen ergeben, und wie kann die internationale Zusammenarbeit diese Spannungen entschärfen? Welche regulatorischen Rahmenbedingungen sind erforderlich, um nachhaltige Praktiken im Ressourcenmanagement zu fördern, und wie können diese in verschiedenen Regionen und Sektoren effektiv umgesetzt werden?

SCHWACHE SIGNALE:

Es gibt Anzeichen für einen übergeordneten Trend zunehmender Ressourcenknappheit. Immer mehr Branchen übernehmen Umweltauflagen und Nachhaltigkeitsstandards. Dies deutet auf ein zunehmendes Bewusstsein für die Wichtigkeit von Ressourcenschonung und Abfallvermeidung hin. Der verstärkte Einsatz von urbaner und vertikaler Landwirtschaft zeigt neue Ansätze im Ressourcenmanagement auf, mit dem Ziel, selbstversorgende Städte zu schaffen.

Auch das Verhalten von Konsumentinnen und Konsumenten verändert sich hin zu einer suffizienzorientierten Lebensweise. Sie fordern zunehmend Produkte und Dienstleistungen, die wenig Abfall verursachen und lange genutzt werden können, beispielsweise in der Modebranche. Zudem sollten sie auf Kreislaufwirtschaft und Wiederverwendung basieren. Unternehmen reagieren auf diese veränderte Nachfrage, indem sie verstärkt auf ESG-Kriterien setzen. ESG steht hierbei für Environmental, Social and Corporate Governance [Umwelt, Soziales und Corporate Governance] und bedeutet, dass Unternehmen ihre Geschäftstätigkeit nach diesen Aspekten bewerten.

Darüber hinaus führen steigende Preise für grundlegende Ressourcen und eine wachsende Nachfrage aus Schwellenländern zu einer weiteren Verschärfung der globalen Ressourcenknappheit. Gemeinden auf kommunaler Ebene rücken bei der Bauplanung die Themen Biodiversität und Ökosysteme immer mehr in den Mittelpunkt. Gleichzeitig gehen Landesregierungen durch den Ausbau erneuerbarer Energien zu resilienten Energiequellen über. Diese Initiativen zeigen ein wachsendes Engagement für Nachhaltigkeit und einen verantwortungsvollen Umgang mit Ressourcen – trotz regulatorischer und wirtschaftlicher Herausforderungen. Zusammenarbeit und proaktive Bemühungen sind unerlässlich, um der Ressourcenknappheit wirksam zu begegnen.

REFERENZEN UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

- Jutila, E. et. al., «Trend report 2023 by VTT Business Intelligence» [Trendbericht 2023 von VTT Business Intelligence], VTT Business Intelligence, Präsentation, 2023
- Europäische Kommission, «Aggravating resource scarcity» [Zunehmende Ressourcenknappheit], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.03.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/aggravating-resource-scarcity_en
- Europäische Kommission, «Changing behaviours» [Verhaltensänderungen], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.03.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/changing-behaviours_en
- Trendmanager-Tool von Trendone, letzter Zugriff am 21.03.2024, <https://www.trendmanager.com/>



3.2

VERÄNDERUNG DER ARBEITSWELT

UMSCHULUNG UND HÖHERQUALIFIZIERUNG
FÜR EINEN TECHNOLOGIEGESTEUERTEN
ARBEITSPLATZ

BESCHREIBUNG:

Bei der Veränderung der Arbeitswelt geht es darum, wie sich Arbeitsplätze, Karrierewege und Unternehmensstrukturen verändern. Auslöser hierfür sind neue Technologien, die globale Vernetzung sowie gesellschaftliche und wirtschaftliche Veränderungen. Dieser Wandel könnte mehr Flexibilität, dezentralisierte Arbeitsformen und eine bessere Vereinbarkeit von Beruf und Privatleben ermöglichen. Gleichzeitig trägt er dazu bei, die Gig-Economy zur Norm zu machen, und führt in einigen Branchen zu Arbeitsplatzverlusten.

In naher Zukunft (mehrere Jahre bis zu einem Jahrzehnt) ist mit einer weiteren Zunahme von Telearbeit sowie von flexiblen und zweckorientierten Arbeitsmodellen zu rechnen. Diese werden insbesondere von den neuen Generationen, die in den Arbeitsmarkt eintreten, nachgefragt. Gleichzeitig tragen ältere Generationen, die länger im Berufsleben verbleiben, zu dieser Dynamik bei. Technologische Fortschritte werden sowohl Berufsbilder als auch die erforderlichen Qualifikationen verändern. IT- und Programmierkenntnisse werden besonders nachgefragt sein, was auf die Automatisierung und digitale Transformation zurückzuführen ist. Die Gig-Economy und freiberufliche Tätigkeiten werden zunehmen und alterna-

tive Beschäftigungsmodelle bieten. Die digitale Transformation und technologische Entwicklungen im Bereich der Automatisierung stellen sowohl Herausforderungen als auch Chancen dar und werden Arbeitsplätze sowie die erforderlichen Qualifikationen neu definieren. In bestimmten Sektoren ist mit einem Fachkräftemangel zu rechnen, da die Nachfrage nach neuen technischen Kompetenzen das Angebot übersteigt.

Langfristig könnte die transformative Wirkung der Technologie auf Industrie und Arbeitswelt die Diskussion über ein bedingungsloses Grundeinkommen anregen. Dies könnte notwendig sein, um die Auswirkungen von KI und Automatisierung abzufedern. Darüber hinaus könnten staatliche Besteuerungen von Algorithmen, die menschliche Arbeitskräfte ersetzen, erforderlich sein, um die Staatseinkünfte zu sichern. Die Arbeitswelt könnte sich von den traditionellen Modellen wegbewegen, sodass Individuen potenziell mehreren Beschäftigungen gleichzeitig nachgehen können. Dies würde zu einer stärker ausgeprägten Gig-Economy der Selbstständigkeit führen. Die erste Generation, die mit KI aufwächst – die sogenannten «KI-Alphas» – wird von klein auf mit intelligenten Technologien vertraut sein. Sie lernen, wie man diese Technologien aktiv mitgestalten kann.

Im Anschluss werden die Auswirkungen einer sich ändernden Arbeitswelt für die einzelnen Kategorien beleuchtet:

— **IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:**

Gesellschaftliche und kulturelle Veränderungen verändern die Anforderungen an die Vereinbarkeit von Beruf und Privatleben und die Zufriedenheit mit der Arbeit, wobei der Wunsch nach flexiblen, unabhängigen und sinnstiftenden Aufgaben zunimmt. Diese Veränderungen in den Arbeitsdynamiken prägen gesellschaftliche Normen in Bezug auf Beschäftigung und Karrierewege, wobei eine deutliche Verschiebung hin zu Telearbeit, zu einer besseren Vereinbarkeit von Beruf und Privatleben sowie zu individueller Autonomie zu beobachten ist. Der Aufstieg der Gig-Economy unterstreicht zudem den Wandel von traditionellen Beschäftigungsmodellen hin zu projektbasierten Aufgaben und Selbstständigkeit.

— **IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:**

Automatisierung und digitale Transformation verändern Berufsbilder. Dieser Wandel erhöht die Nachfrage nach IT- und Programmierkenntnissen, was dem technologischen Fortschritt geschuldet ist, wodurch neue Innovationsmöglichkeiten entstehen. Gleichzeitig bringt er jedoch Herausforderungen mit sich, darunter Arbeitsplatzverluste und Missverhältnisse zwischen Qualifikationsangebot und -nachfrage. Als Reaktion auf diese Veränderungen wächst der Bedarf an Umschulungen, insbesondere in den Bereichen IT und Programmierung. Fortschritte in der Kommunikationstechnologie haben zudem die Möglichkeiten für Telearbeit erweitert und gestatten eine Zusammenarbeit ohne räumliche Einschränkungen.

— **IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:**

Die Gig-Economy und freiberufliche Tätigkeiten bieten alternative Arbeitsmöglichkeiten und transformieren somit das traditionelle Beschäftigungsmodell. Dies hat weitreichende Auswirkungen auf die Wirtschaft, von der Einkommensverteilung über die Funktionsweise des Arbeitsmarktes bis hin zur Tragfähigkeit sozialer Sicherungssysteme. Diese Modelle erfordern zudem innovative Ansätze zur Bindung von Spitzenkräften und bieten gleichzeitig wirtschaftliche Flexibilität für Einzelpersonen und Unternehmen. Allerdings könnten sie in den Bereichen zu einem Fachkräftemangel führen, in denen die Nachfrage nach neuen technischen Kompetenzen das Angebot übersteigt, was sich wiederum auf die wirtschaftliche Produktivität und das Wachstum auswirken könnte.

— **IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:**

Telearbeit und flexible Arbeitszeiten können zur Reduzierung von CO₂-Emissionen beitragen, da weniger Pendelverkehr vonnöten ist. Darüber hinaus legen Unternehmen mittlerweile mehr Wert auf Nachhaltigkeit und soziale Verantwortung und beziehen ökologische Nachhaltigkeit in ihre Kernwerte ein.

— **IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:**

Regierungen und Regulierungsbehörden müssen möglicherweise die Arbeitsgesetze aktualisieren, um neuen Arbeitsmodellen Rechnung zu tragen, der prekären Beschäftigung entgegenzuwirken und die Einkommensungleichheit zu verringern. Die Diskussion über ein bedingungsloses Grundeinkommen als Antwort auf die Auswirkungen von KI und Automatisierung der Arbeitsplätze könnte zunehmen. Darüber hinaus könnte es wichtig sein, Algorithmen, die menschliche Arbeit verdrängen, zu regulieren, um die Staatseinkünfte zu sichern und die soziale Gerechtigkeit zu fördern.

Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:

— **IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:**

Wie wird sich die Gesellschaft auf die zunehmende Verbreitung von Telearbeit und nicht-traditionellen Beschäftigungsmodellen einstellen? Wird ein kultureller Wandel stattfinden, bei dem Flexibilität und Autonomie wichtiger als die Arbeitsplatzsicherheit betrachtet wird?

— **IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:**

Welche langfristigen Auswirkungen werden Automatisierung und digitale Transformation auf Berufsbilder und den Gesamtmarkt haben? Wie werden Individuen und Organisationen mit der rasanten technologischen Entwicklung und dem steigenden Bedarf an kontinuierlicher Weiterbildung Schritt halten?

— **IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:**

Welche Massnahmen können ergriffen werden, um den Fachkräftemangel in kritischen Sektoren zu bewältigen und einen gerechten Zugang zu den Möglichkeiten der digitalen Wirtschaft sicherzustellen? Wie wird sich das Wachstum der Gig-Economy auf traditionelle Beschäftigungsstrukturen und die wirtschaftliche Stabilität auswirken?

— **IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:**

Wie können weitere Anreize für Telearbeit und nachhaltige Beschäftigungspraktiken geschaffen werden, um ökologische Vorteile zu maximieren? Welche Rolle können Regierungen und Unternehmen bei der Förderung umweltbewusster Arbeitspraktiken spielen?

— **IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:**

Welche politischen Massnahmen und Regulierungen sind erforderlich, um eine faire Behandlung und den Schutz von Arbeitskräften in der Gig-Economy sicherzustellen? Wie können Regierungen das Gleichgewicht zwischen der Notwendigkeit von Innovation und technologischem Fortschritt einerseits und dem Erhalt von Arbeitsplätzen und sozialer Stabilität andererseits wahren?

SCHWACHE SIGNALE:

Es gibt Anzeichen für eine signifikante Veränderung der Art und Weise, wie Unternehmen ihre Belegschaft organisieren und ihre Arbeitsverhältnisse verwalten. Zunächst einmal setzen immer mehr Unternehmen auf Telearbeit und flexible Arbeitszeiten. Dieser Wandel wird durch technologische Fortschritte sowie durch die Erfahrungen aus der COVID-19-Pandemie vorangetrieben. Dieser Trend spiegelt die zunehmende Anerkennung der Vorteile von Telearbeit wider, insbesondere in Bezug auf Flexibilität, Produktivität und die Work-Life-Balance, also die Vereinbarkeit von Beruf und Privatleben. Darüber hinaus führt die Ausweitung der Gig-Economy und der Plattformen für freiberufliche Tätigkeit einen tiefgreifenden Wandel in den Beschäftigungsmodellen herbei. Immer mehr Menschen entscheiden sich für nicht-traditionelle, projektbasierte Arbeitsmodelle. Dieser Trend hin zur Gig-Arbeit unterstreicht sowohl das wachsende Bedürfnis der arbeitenden Bevölkerung nach mehr Autonomie und Flexibilität als auch das Entstehen neuer Möglichkeiten in der digitalen Wirtschaft. Zudem legen Unternehmen heute mehr Wert auf Nachhaltigkeit und sinnstiftende Arbeit. Dies zeigt sich in ihren Werten und Leitbildern und spiegelt einen grundlegenden gesellschaftlichen Wandel hin zu ethischem und sozial verantwortlichem Wirtschaften wider. Unternehmen haben inzwischen verstanden, wie wichtig es ist, die gleichen Werte wie ihre Mitarbeitenden und Kundinnen und Kunden zu teilen. Daher lancieren sie verstärkt Programme mit Augenmerk auf ökologischer Nachhaltigkeit und Sozialverträglichkeit. Diese Entwicklungen deuten insgesamt auf eine fundamentale Neugestaltung von Arbeit und Beschäftigungsstrukturen hin. Sowohl Organisationen als auch Individuen wenden sich neuen Arbeitsmodellen zu, die Flexibilität, Sinnhaftigkeit und soziale Verantwortung in den Mittelpunkt rücken.

REFERENZEN UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

- Michael Astor et al., «VORAUS:schau 112 Themenblätter», Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bericht, 2022, https://www.vorausschau.de/SharedDocs/Downloads/vorausschau/de/112_Themenbl%C3%A4tter.pdf?__blob=publicationFile&v=3
- Europäische Kommission, «Access to education and training» [Zugang zur allgemeinen und beruflichen Bildung], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 13.12.2023, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/topic/changing-nature-work/access-to-education-and-training_en
- Europäische Kommission, «Changing nature of work» [Veränderung der Arbeitswelt], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 13.12.2023, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/changing-nature-work_en
- Europäische Kommission, «Digital transformation» [Digitale Transformation], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 13.12.2023, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/digital-transformation_en
- Trendmanager-Tool von Trendone, letzter Zugriff am 15.01.2024, <https://www.trendmanager.com/>
- Europäische Kommission, «New organisations of work» [Neue Organisationsformen der Arbeit], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 13.12.2023, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/new-organisations-work_en
- Europäische Kommission, «Purpose driven work» [Zweckorientierte Arbeit], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 13.12.2023, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/purpose-driven-work_en



3.3

SICHERHEITSVERSTÄNDNIS IM WANDEL

SICHERHEIT IN DER ZUKUNFT: NAVIGIEREN IN
EINER SICH WANDELNDEN SICHERHEITSLANDSCHAFT

BESCHREIBUNG:

Der Wandel des Sicherheitsverständnisses ist Ausdruck einer veränderten Wahrnehmung und Bewältigung sicherheitspolitischer Herausforderungen. Bisher lagen hauptsächlich militärische Bedrohungen zwischen Staaten im Fokus der Sicherheit. Dieser Megatrend umfasst jedoch ein breites Spektrum an Sicherheitsfragen, die sowohl traditionelle als auch nicht-traditionelle Bedrohungen einschließen. Nicht-traditionelle Bedrohungen sind beispielsweise Cyber-Angriffe, Konflikte infolge des Klimawandels oder Terrorismus. Verschiedene Faktoren beeinflussen diese Bedrohungen, darunter technologische Fortschritte, sich verändernde geopolitische Konstellationen und gesellschaftliche Entwicklungen. Von diesem Wandel sind nicht nur Regierungen und militärische Einrichtungen, sondern auch Unternehmen, Gemeinschaften und Einzelpersonen betroffen.

Die globale Sicherheitslandschaft verändert sich grundlegend. Neue Akteure, Technologien und geopolitische Trends treiben diesen Wandel voran. Dieser Paradigmenwechsel ist durch das Auftreten hybrider Bedrohungen geprägt. Der Cyberspace wird zunehmend anfällig für Angriffe, insbesondere auf kritische Infrastrukturen. Gleichzeitig sehen wir eine Zunahme militärischer Aktivitäten im Weltraum.

Fortschrittliche Technologien verändern die internationalen Beziehungen und politischen Machtverhältnisse. Dazu gehören künstliche Intelligenz, autonome Waffensysteme, Big Data, Biotechnologie, Hyperschallgleiter und Quantentechnologien

In naher Zukunft (mehrere Jahre bis zu einem Jahrzehnt)

wird sich die traditionelle Kriegsführung weiterentwickeln. Hybride Bedrohungen, Cyber-Kriegsführung und die Militarisierung des Weltraums werden zunehmen. Die hybride Kriegsführung, eine Kombination aus konventioneller und politischer Kriegsführung, stellt ein anspruchsvolles Verteidigungsszenario dar, das innovative Sicherheitsansätze verlangt. Der Cyberspace, der heute zu einem entscheidenden Kriegsschauplatz geworden ist, zieht massive staatliche Investitionen an und lässt verstärkte Cyber-Angriffe erwarten. Der Wettlauf um die Vorherrschaft im Weltraum ist neu entfacht und könnte ihn zum Schauplatz geopolitischer Konflikte machen. Darüber hinaus werden gesellschaftliche Veränderungen, wie etwa die zunehmende Vernetzung und Migration, die Sicherheitslandschaft weiter prägen.

Langfristig könnten neue Technologien beispiellose Überwachungsmöglichkeiten schaffen, was Bedenken hinsichtlich Datenschutz und bürgerlicher Freiheitsrechte aufwirft. Sicherheitsstrategien werden sich vermehrt auf technologische Innovationen und unkonventionelle Taktiken stützen. Hyperschallgleiter und Quantentechnologien werden sich weiterentwickeln und werden voraussichtlich in das Rüstungsarsenal aufgenommen und die Dynamik zukünftiger Konflikte massgeblich beeinflussen.

Zusätzlich könnten Umweltzerstörung und Ressourcenknappheit die Konflikte weiter verschärfen, wodurch innovative Ansätze zur Bewältigung klimabedingter Sicherheitsrisiken erforderlich werden. Internationale Zusammenarbeit und Governance-Mechanismen zur Bewältigung globaler Sicherheitsbedrohungen werden zunehmend an Relevanz gewinnen.

Im Anschluss werden die Auswirkungen des veränderten Sicherheitsverständnisses für die einzelnen Kategorien beleuchtet:

— **IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:**

Cyber-Angriffe nehmen zu und offenbaren Schwachstellen in kritischen Infrastrukturen. Dieser Trend untergräbt das öffentliche Vertrauen in digitale Systeme. Die öffentliche Wahrnehmung von Sicherheit verändert sich, und Datenschutz, Überwachung und Aktivismus rücken immer mehr in den Mittelpunkt. Der Krieg in der Ukraine hat das Vertrauen in ein sicheres Europa erschüttert. Darüber hinaus führen Klimakatastrophen, Terrorismus und globale Gewalt dazu, dass sich die Menschen weniger sicher fühlen.

— **IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:**

Künstliche Intelligenz, das Internet der Dinge und Blockchain-Technologien entwickeln sich rasant weiter. Diese Technologien revolutionieren die Sicherheit durch verbesserte Bedrohungserkennung und Überwachung. Darüber hinaus ermöglicht Quantencomputing fortschrittliche Überwachungsmöglichkeiten, wirft jedoch ethische Fragen hinsichtlich des Datenschutzes und des potenziellen Missbrauchs durch autoritäre Regierungen auf. Durch die Militarisierung des Cyberspace und des Weltraums entstehen neue Schauplätze für Kriegsführung und Sicherheitskonflikte.

— **IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:**

Die sich verändernde Sicherheitslandschaft erfordert erhebliche Investitionen in Cyber-Sicherheit und Verteidigungstechnologien, was sich auf die wirtschaftlichen Prioritäten und Ressourcen auswirkt. Höhere Sicherheitsausgaben könnten einerseits das Wirtschaftswachstum durch Investitionen in Verteidigung, Cyber-Sicherheit und den Schutz kritischer Infrastruktur ankurbeln, andererseits könnten wirtschaftliche Ungleichheiten und der Wettbewerb um Ressourcen aber auch neue Sicherheitsprobleme auslösen. Diese wiederum könnten Handelsströme stören, Märkte destabilisieren und Verteidigungsausgaben auf Kosten sozialer und entwicklungspolitischer Projekte erhöhen. Hinzu kommt, dass hybride Bedrohungen und Cyber-Kriegsführung die Unternehmen vor erheblichen Herausforderungen stellen, da sie Lieferketten, geistiges Eigentum und wirtschaftliche Stabilität gefährden können.

— **IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:**

Umweltzerstörung, Klimawandel und Naturkatastrophen verschlechtern die Sicherheitslage, indem sie die Ressourcenknappheit verstärken, Konflikte auslösen und Bevölkerungsgruppen verdrängen. Diese Probleme verstärken soziale Spannungen und bedrohen die Stabilität, was zu Migrationsbewegungen und Nahrungsmittelknappheit führt. Sie verschärfen die Konflikte um Territorien und Ressourcen und erfordern innovative Lösungen und globale Kooperation für ein effektives Krisenmanagement.

— **IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:**

Geopolitische Verschiebungen und regulatorische Rahmenbe-

dingungen beeinflussen Bündnisse, die Verteidigungspolitik und die internationale Zusammenarbeit. Der zunehmende Nationalismus, territoriale Konflikte und Machtverschiebungen beeinträchtigen Sicherheitsstrategien und Handelsbeziehungen. Dies hat direkte Auswirkungen auf die Stabilität ganzer Regionen sowie auf die Zusammenarbeit in der globalen Sicherheitspolitik. Geopolitische und machtpolitische Trends treiben die militärische Expansion in den Weltraum voran. Gleichzeitig verdeutlichen territoriale und ressourcenbedingte Spannungen, wie dringend eine internationale Zusammenarbeit und effektive Governance bei der Bewältigung globaler Sicherheits Herausforderungen erforderlich ist.

Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:

— **IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:**

Wie werden sich veränderte Ansichten über den Datenschutz und die Sicherheit auf den Einsatz von Überwachungstechnologien auswirken? Inwiefern werden sie staatliche Eingriffe beeinflussen? Wie wirken sich die zunehmende Sensibilisierung der Öffentlichkeit und der zunehmende Aktivismus hinsichtlich der Sicherheit und des Datenschutzes auf die Gesetzgebung und Regierungsführung aus?

— **IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:**

Welche ethischen Dilemmata und regulatorischen Herausforderungen ergeben sich aus der Entwicklung und dem Einsatz fortschrittlicher Militärtechnologien wie beispielsweise autonomen Waffensystemen und Quantentechnologien? Wie wird die Integration neuer Technologien in Sicherheitsstrategien das Machtgleichgewicht und die internationalen Beziehungen beeinflussen?

— **IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:**

Welche wirtschaftlichen Folgen haben die zunehmenden Cyber-Bedrohungen und die Notwendigkeit erheblicher Investitionen in Verteidigungstechnologien? Wie werden Unternehmen auf veränderte Sicherheitsbedingungen reagieren, insbesondere im Hinblick auf die Resilienz von Lieferketten und den Schutz des geistigen Eigentums?

— **IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:**

Inwiefern werden Umweltzerstörung und Ressourcenknappheit Konflikte verschärfen und Sicherheitsprioritäten sowie die Verteilung von Ressourcen beeinflussen? Welche innovativen Ansätze sind erforderlich, um klimabedingte Sicherheits Herausforderungen anzugehen? Wie werden klimabedingte Sicherheitsrisiken wirtschaftliche und geopolitische Dynamiken beeinflussen?

— **IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:**

Wie können internationale Zusammenarbeit und Governance-Mechanismen globale Sicherheitsbedrohungen inmitten zunehmender geopolitischer Spannungen und Territorialstreitigkeiten bewältigen? Wie werden hybride Bedrohungen und nichtstaatliche Akteure globale regulatorische Rahmenbedingungen und Sicherheitsstrategien beeinflussen?

SCHWACHE SIGNALE:

Die Frühindikatoren für den Wandel des Sicherheitsverständnisses sind vielschichtig und betreffen verschiedene Bereiche. Cyber-Angriffe nehmen stetig zu. Ein Beispiel dafür ist die SolarWinds-Supply-Chain-Attacke auf staatliche Computersysteme in den USA im Jahr 2020. Dieser Vorfall führt die Anfälligkeit kritischer Infrastrukturen für digitale Bedrohungen klar vor Augen.

Gleichzeitig setzen sowohl Regierungen als auch nichtstaatliche Gruppen zunehmend auf Strategien der hybriden Kriegsführung und entwickeln innovative militärische Technologien. Dies veranschaulicht, dass sich die Natur von Konflikten und Sicherheitsbedrohungen verändert. Darüber hinaus verdeutlicht der Anstieg militärischer Aktivitäten im Weltraum durch neue Akteure eine Veränderung in der globalen politischen Landschaft. Sowohl militärische als auch zivile Überwachungsoperationen werden zunehmend im Weltraum ausgeführt.

Des Weiteren tragen wachsende geopolitische Spannungen im Zusammenhang mit territorialen Streitigkeiten und der Rohstoffgewinnung zur komplexen Sicherheitslage bei. Die zunehmende Präsenz nichtstaatlicher Akteure und terroristischer Organisationen, die gesellschaftliche Missstände ausnutzen, erschwert die Sicherheitsdynamik zusätzlich. Das gesteigerte öffentliche Bewusstsein und der zunehmende Aktivismus in Bezug auf Sicherheits- und Datenschutzfragen spiegeln die sich verändernde gesellschaftliche Einstellung zu Sicherheitsmaßnahmen wider. Soziale Medien spielen dabei eine zentrale Rolle, indem sie durch Propaganda die öffentliche Wahrnehmung beeinflussen. Dies unterstreicht die Bedeutung von digitaler Sicherheit und kritischem Denken in modernen Konflikten.

Darüber hinaus zeigt der Einsatz neuer Technologien zur Überwachung und Prognose von Kriminalität, wie technologische Fortschritte in Sicherheitsstrategien integriert werden können. Zusammen verdeutlichen diese Entwicklungen die Notwendigkeit proaktiver Massnahmen und strategischer Vorausschau, um aufkommende Sicherheitsherausforderungen wirksam zu bewältigen.

REFERENZEN UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

- Europäische Kommission, «Changing conflict causalities» [Veränderung der Konfliktursachen], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.01.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/changing-conflict-causalities_en
- Europäische Kommission, «Changing security paradigm» [Sicherheitsverständnis im Wandel], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.01.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/changing-security-paradigm_en
- Europäische Kommission, «Future battlefields» [Zukünftige Gefechtsfelder], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.01.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/future-battlefields_en
- Trendmanager-Tool von Trendone, letzter Zugriff am 21.01.2024, <https://www.trendmanager.com/>
- Europäische Kommission, «Shift in the geopolitical landscape» [Veränderung der geopolitischen Landschaft], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.01.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/shift-geopolitical-landscape_en
- Unbekannter Autor, «Significant Cyber Incidents» [Bedeutende Cyber-Vorfälle], Strategic Technologies Program CSIS, Website, letzter Zugriff am 21.01.2024, <https://www.csis.org/programs/strategic-technologies-program/significant-cyber-incidents>
- Europäische Kommission, «Space becomes a new area of expansion» [Der Weltraum wird zum neuen Expansionsgebiet], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.01.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/space-becomes-new-area-expansion_en



3.4

KLIMAWANDEL UND UMWELTZERSTÖRUNG

DIE ERDE AM ABGRUND, VON DER KRISE ZUR TRANSFORMATION

BESCHREIBUNG:

Klimawandel und Umweltzerstörung sind zwei der drängendsten Herausforderungen, vor denen die Menschheit heute steht. Der Klimawandel wird durch die anhaltende, ungebremste, vom Menschen verursachte Umweltverschmutzung und die Freisetzung von Treibhausgasen in die Atmosphäre verursacht. Unter Umweltzerstörung versteht man die Schädigung oder Zerstörung natürlicher Ökosysteme. Beide Phänomene haben erhebliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, Lebensgrundlagen und Ökosysteme. Seit Beginn der Industriellen Revolution hat sich die vom Menschen verursachte globale Erwärmung verstärkt, was zu steigenden Temperaturen, dem Schmelzen der Polkappen und Extremwetterereignissen führt. Die Notwendigkeit, sich mit diesem übergeordneten Trend auseinanderzusetzen, ergibt sich aus dem Bestreben, dessen negative Folgen zu minimieren. Diese Auswirkungen beeinträchtigen Ökosysteme, die Wirtschaft und das menschliche Wohlbefinden. Um den Schaden zu begrenzen und die schlimmsten Folgen des Klimawandels und der Umweltzerstörung zu vermeiden, sind dringende Massnahmen zum Schutz der Umwelt erforderlich.

In naher Zukunft (mehrere Jahre bis zu einem Jahrzehnt) werden sich die Anstrengungen zur Bekämpfung des Klimawandels und der Umweltzerstörung voraussichtlich intensivieren.

Regierungen, Unternehmen und Einzelpersonen werden verstärkt Massnahmen ergreifen, um Treibhausgasemissionen zu reduzieren und Nachhaltigkeit zu fördern. Zudem werden sie sich an die sich wandelnden Umweltbedingungen anpassen müssen. Regulatorische Rahmenbedingungen werden verschärft werden, um umweltfreundliche Praktiken zu fördern und verantwortungsloses Umweltverhalten zu sanktionieren.

Technologische Innovationen in den Bereichen erneuerbare Energien, nachhaltige Landwirtschaft und Abfallwirtschaft werden bei dieser Transformation eine entscheidende Rolle spielen. Bis zum Jahr 2030 könnten Lösungen zur Emissionsreduzierung kosteneffizient sein und in Sektoren eingesetzt werden, die für 70% der weltweiten Emissionen verantwortlich sind, darunter Transport, Energie, Gebäude, Landwirtschaft und Landnutzung.

Langfristig wird die Erde, wenn keine ernsthaften Schritte zur Eindämmung des Klimawandels und der Umweltzerstörung eingeleitet werden, schweren Schaden nehmen. Kontinuierlicher technologischer Fortschritt und gezielte politische Interventionen werden entscheidend sein, um die schwerwiegendsten Auswirkungen des Klimawandels abzumildern. Abhängig von den ergriffenen Massnahmen reichen die potenziellen Szenarien vom ökologischen Zusammenbruch bis hin zum erfolgreichen Übergang zu Nachhaltigkeit.

Im Anschluss werden die Auswirkungen des Klimawandels und der Umweltzerstörung für die einzelnen Kategorien beleuchtet:

— IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:

Das Bewusstsein für Umweltfragen nimmt zu. Dieses steigende Bewusstsein führt zu einer höheren Nachfrage nach nachhaltigen Praktiken und Produkten. Es beeinflusst die Entscheidungen der Konsumentinnen und Konsumenten, deren Präferenzen sich in Richtung Nachhaltigkeit verschieben, weshalb sie mehr ökologische Verantwortung einfordern. Klimaereignisse wie Naturkatastrophen und Ressourcenknappheit verschärfen soziale Ungleichheiten und sorgen somit für mehr Vertreibung, Konflikte und Migration.

— IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:

Fortschritte im Bereich erneuerbarer Energien, insbesondere Solar- und Windenergie, bieten Alternativen zu fossilen Brennstoffen und tragen somit zu weniger Treibhausgasemissionen und mehr Energieunabhängigkeit bei. Technologien zur Kohlendioxidabscheidung und -speicherung ermöglichen die Abscheidung und Speicherung von CO₂ aus der Industrie und aus Kraftwerken, wodurch die negativen Umweltauswirkungen verringert werden. Innovationen in der CRISPR-Cas9-Geneditierung verbessern die Widerstandsfähigkeit von Nutzpflanzen, wodurch Probleme in der Landwirtschaft, die durch den Klimawandel verschärft werden, gezielt in Angriff genommen werden können.

— IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:

Extremwetterereignisse und Naturkatastrophen setzen die Infrastruktur, die Landwirtschaft und die Versicherungsbranche unter erheblichen Druck. Investitionen in erneuerbare Energien und die Verbesserung der Energieeffizienz sind ebenso notwendig wie die Anpassung an eine kohlendioxidarme Wirtschaft. Regulatorische Massnahmen wie etwa die CO₂-Bepreisung stimmen wirtschaftliche Anreize mit ökologischen Zielen ab und fördern gemeinsame Anstrengungen zur Bekämpfung des Klimawandels. Darüber hinaus signalisieren das wachsende Investitionsvolumen in erneuerbare Technologien und nachhaltige Industrien einen Wandel hin zu einer umweltbewussteren Wirtschaft.

— IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:

Biodiversitätsverlust, Lebensraumzerstörung und Umweltverschmutzung bedrohen Ökosysteme sowie lebenswichtige Ressourcen wie saubere Luft, Wasser und Böden. Steigende Temperaturen und veränderte Klimamuster verschärfen bestehende Umweltprobleme und führen zu einer Zunahme von Dürren, Waldbränden und Überschwemmungen. Der Anstieg der Treibhausgasemissionen und der globalen Temperatur macht dringende Klimaschutzmassnahmen erforderlich.

— IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:

Internationale Übereinkommen wie das Pariser Klimaabkommen zielen darauf ab, die Emissionen durch globale Zusammenarbeit zu reduzieren. Geopolitische Spannungen und nationale Interessen könnten diese Klimaziele jedoch behindern. Nationale gesetzliche Vorgaben haben erheblichen Einfluss auf die Schaffung nachhaltiger Industrien, indem sie den Ein-

satz erneuerbarer Energien belohnen und Umweltschäden sanktionieren, was sich auf Unternehmensstrategien und Investitionen auswirkt. Es wird erwartet, dass gesetzliche Vorgaben weiter verschärft werden, umweltfreundliche Praktiken fördern und Umweltverstösse strenger ahnden, wodurch der Druck auf Regierungen zur Durchsetzung von Massnahmen erhöht wird. Darüber hinaus könnten die globale Zusammenarbeit einerseits und geopolitische Spannungen andererseits zunehmen – als Reaktion auf die Ressourcenknappheit, die klimabedingte Migration und die gerechte Verteilung von Klimaschutzmassnahmen.

Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:

— IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:

Auf welche Weise könnten kulturelle Normen Umwelttrends in verschiedenen Regionen beeinflussen? Wie werden sich gesellschaftliche Werte als Reaktion auf den Klimawandel verändern? Welche Unsicherheiten bestehen im Bereich von Kommunikation und Bildung bei der Sensibilisierung und Förderung von Verhaltensänderungen in Bezug auf Umweltfragen? Wie wirken sich soziale Ungleichheiten und kulturelle Barrieren auf eine faire Beteiligung an Klimaschutzmassnahmen aus, und inwiefern könnten sie bestehende Verwundbarkeiten und Missverhältnisse verstärken?

— IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:

Welche technologischen Durchbrüche sind erforderlich, um eine flächendeckende Einführung erneuerbarer Energien und nachhaltiger Praktiken zu erreichen? Wie werden neue Technologien die Entwicklung des Klimawandels und der Umweltzerstörung beeinflussen? Wie wirkt sich das rasante Innovationstempo auf die Entwicklung von Lösungen für Umweltprobleme aus? Welche Unsicherheiten bestehen hinsichtlich der langfristigen Wirksamkeit innovativer Technologien zur Reduzierung von Umweltrisiken?

— IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:

Wie wirken sich die mit Klimakatastrophen und Umweltschäden verbundenen wirtschaftlichen Risiken auf die Entscheidungsfindung für den Übergang zu einer kohlendioxidarmen Wirtschaft aus? Welche Herausforderungen ergeben sich bei Kosten-Nutzen-Analysen und Investitionsentscheidungen vor dem Hintergrund der daraus resultierenden wirtschaftlichen Unsicherheiten? Inwiefern behindern wirtschaftliche Ungleichheiten eine faire globale Zusammenarbeit und die gerechte Verteilung von Klimaschutzmassnahmen? Welche wirtschaftlichen Herausforderungen werden beim Übergang zu einer nachhaltigeren Wirtschaft auftreten?

— IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:

Welche Herausforderungen ergeben sich bei der Vorhersage des Ausmasses und zeitlichen Verlaufs von Umweltauswirkungen aufgrund von Rückkopplungsschleifen, Kippunkten und Schwelleneffekten? Wie erschweren Unsicherheiten in Klimamodellen und -prognosen die Bemühungen um die Bewertung und Eindämmung von Umweltrisiken? Welche Unsicherheiten bestehen hinsichtlich der Reaktion und Resilienz von Ökosystemen angesichts ökologischer Veränderungen und kaskadierender Effekte?

— IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:

Wie beeinflussen der politische Wille und die Durchsetzungsfähigkeit den Erfolg regulatorischer Rahmenbedingungen bei der Förderung von Nachhaltigkeit und der Ahndung von Umweltverstößen? Welche Unsicherheiten bestehen hinsichtlich der Stabilität und Wirksamkeit internationaler Abkommen und Verträge zur Bewältigung von Umweltproblemen? Welche geopolitischen Spannungen könnten durch Ressourcenkonkurrenz oder Meinungsverschiedenheiten über die Klimapolitik entstehen? Wie werden sich internationale Abkommen und Verträge weiterentwickeln, um die komplexen Herausforderungen des Klimawandels und der Umweltzerstörung zu bewältigen? Wie werden sich darüber hinaus die regulatorischen Rahmenbedingungen an neue Technologien und sich wandelnde Umweltbedrohungen anpassen?

SCHWACHE SIGNALE:

Der Anstieg der Treibhausgasemissionen und der globalen Temperaturen verdeutlicht die dringende Notwendigkeit sofortiger Klimaschutzmassnahmen. Die zunehmenden Extremwetterereignisse machen die Auswirkungen des Klimawandels spürbar und eine Reaktion aller Interessengruppen erforderlich. Innovationen wie die CRISPR/Cas-Geneditierung bieten vielversprechende Lösungen zur Steigerung der Widerstandsfähigkeit von Nutzpflanzen.

Gleichzeitig spiegeln veränderte Verbraucherpräferenzen hin zu mehr Nachhaltigkeit sowie regulatorische Massnahmen wie etwa die CO₂-Bepreisung eine wachsende gesellschaftliche Forderung nach Umweltverantwortung wider. Diese Massnahmen stimmen wirtschaftliche Anreize mit ökologischen Zielen ab und fördern eine gemeinsame Verpflichtung zur Bekämpfung des Klimawandels. Die Identifizierung von Kippelementen durch das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung unterstreicht den unumkehrbaren Charakter einiger Umweltveränderungen.

Zudem verdeutlichen weltweite Proteste, von Jugendlichen initiierte Bewegungen und Forderungen nach politischen Massnahmen das stärkere öffentliche Bewusstsein und den zunehmenden Aktivismus. Die wachsenden Investitionen in erneuerbare Technologien und nachhaltige Industrien signalisieren eine Verschiebung hin zu einer umweltbewussteren Wirtschaft. Darüber hinaus sorgen eingereichte Klagen im Zusammenhang mit dem Klimawandel und Bemühungen um die Rechenschaftspflicht von Unternehmen dafür, dass Verursacher und Regierungen zur Rechenschaft gezogen werden, was die Umweltverantwortung weiter fördert.

REFERENZEN UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

- Jutila, E. et. al., «Trend report 2023 by VTT Business Intelligence» [Trendbericht 2023 von VTT Business Intelligence], VTT Business Intelligence, Präsentation, 2023
- Trendmanager-Tool von Trendone, letzter Zugriff am 21.01.2024, <https://www.trendmanager.com/>
- Europäische Kommission, «Climate change and environmental degradation» [Klimawandel und Umweltzerstörung], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.01.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/climate-change-environmental-degradation_en
- Europäische Kommission, «Climate change continues» [Der Klimawandel schreitet voran], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.01.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/climate-change-continues_en
- Europäische Kommission, «Established practices are questioned» [Etablierte Praktiken werden in Frage gestellt], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.01.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/established-practices-are-questioned_en
- Europäische Kommission, «Negative impacts increase» [Negative Auswirkungen nehmen zu], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.01.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/negative-impacts-increase_en
- Europäische Kommission, «Outside planetary boundaries» [Ausserhalb der Grenzen der Erde], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.01.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/outside-planetary-boundaries_en



3.5

FORTSCHREITENDE URBANISIERUNG

STADTBILD IM WANDEL: VON BETON-
WÜSTEN ZU NACHHALTIGEN ZENTREN

BESCHREIBUNG:

Überall auf der Welt ziehen Menschen aus ländlichen Gebieten in die Städte. Sie suchen nach besseren Arbeitsmöglichkeiten, Dienstleistungen und Bildungsangeboten. Diese Bewegung ist Teil des anhaltenden Trends der Urbanisierung. In den letzten vierzig Jahren hat sich durch dieses Phänomen die Zahl der in Städten lebenden Menschen verdoppelt. Prognosen zufolge werden bis zum Jahr 2050 mehr als 68% der Weltbevölkerung in urbanen Gebieten leben. Die rapide Urbanisierung wird zu technologischen Innovationen führen, das Wirtschaftswachstum ankurbeln und soziale Veränderungen bewirken. All diese Faktoren werden die Zukunft des Lebens in Städten und deren Verwaltung prägen.

In naher Zukunft (mehrere Jahre bis zu einem Jahrzehnt) wird die Urbanisierung voraussichtlich an Fahrtwind aufnehmen. Prognosen zufolge wird die Zahl der in Städten lebenden Menschen bis 2050 auf fünf Milliarden ansteigen. Dies steigert die Produktivität und das Bruttoweltprodukt, verschärft jedoch auch Probleme wie Umweltzerstörung, Gesundheitsprobleme, Wohnungsmangel, Verkehrsstaus und Ungleichheiten. Neue digitale Technologien helfen den Städten bei der Bewältigung dieser Herausforderungen, fördern das Engagement der Bürgerinnen und Bürger und verändern das städtische Dienstleistungsangebot.

Langfristig ist von einer Zunahme der Urbanisierung auszugehen, insbesondere in Entwicklungsregionen. Städte werden als Zentren für wirtschaftliche Aktivität und Innovation noch wichtiger. Nachhaltige Stadtplanung und -verwaltung sind von entscheidender Bedeutung, um die langfristige Lebensfähigkeit urbaner Räume zu gewährleisten. Dies gilt insbesondere angesichts neuer Herausforderungen wie etwa des Klimawandels und geopolitischer Spannungen.

Im Anschluss werden die Auswirkungen der fortschreitenden Urbanisierung für die einzelnen Kategorien beleuchtet:

— IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:

Die Urbanisierung wird kulturelle Identitäten, soziale Dynamiken und Gemeinschaftsinteraktionen mitprägen, indem sie kulturelle Vielfalt fördert und neue urbane Kulturen entstehen lässt. Sie kann den gesellschaftlichen Zusammenhalt stärken, aber auch zu sozioökonomischen Ungleichheiten, kulturellen Konflikten und Problemen wie sozialer Fragmentierung und Gentrifizierung führen. Die Bewältigung dieser Probleme ist von entscheidender Bedeutung, um soziale Inklusion zu gewährleisten und den gesellschaftlichen Zusammenhalt in urbanen Räumen langfristig aufrechtzuerhalten.

— IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:

Die Urbanisierung wird technologische Innovationen in den Bereichen Verkehr, Infrastruktur, Energiesysteme und öffentliche Dienstleistungen erheblich vorantreiben. Smart-City-Technologien und datengestützte Entscheidungen werden die Effizienz der Infrastruktur, die Nachhaltigkeit und die Lebensqualität verbessern. Dennoch könnten Fragen des Datenschutzes, die digitale Kluft und die Abhängigkeit von technologischen Systemen die zukünftige Entwicklung und Governance von Städten beeinträchtigen.

— IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:

Die Urbanisierung bietet Chancen für wirtschaftliches Wachstum, indem sie Städte zu Zentren für Innovation, Unternehmertum und Investitionen macht. Sie bringt jedoch auch Herausforderungen mit sich, da sie bestehende Ressourcen und Infrastrukturen stark beansprucht und wirtschaftliche sowie soziale Ungleichheiten verschärfen kann. Während die Bündelung von Ressourcen, Arbeit und Kapital das Wachstum ankurbelt, entstehen gleichzeitig Probleme wie Einkommensungleichheit, steigende Wohnkosten und städtische Armut. Daher sind integrative Wirtschaftsstrategien und Sozialprogramme erforderlich, um diese Disparitäten abzumildern.

— IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:

Umweltzerstörung, Klimawandel und Naturkatastrophen verschlechtern die Sicherheitslage, indem sie die Ressourcenknappheit verstärken, Konflikte auslösen und Bevölkerungsgruppen verdrängen. Diese Probleme verstärken soziale Spannungen und bedrohen die Stabilität, was zu Migrationsbewegungen und Nahrungsmittelknappheit führt. Sie verschärfen die Konflikte um Territorien und Ressourcen und erfordern innovative Lösungen und globale Kooperation für ein effektives Krisenmanagement.

— IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:

Urbanisierung macht Regelungen in den Bereichen Flächennutzung, Verkehr, Nachhaltigkeit und Infrastrukturinvestitionen erforderlich. Lokalen Regierungen kommt bei der Bewältigung urbaner Herausforderungen und der Durchsetzung von Vorschriften eine Schlüsselrolle zu. Die Urbanisierung könnte auch geopolitische Dynamiken beeinflussen, indem sie die wirtschaftliche und politische Bedeutung von

Städten verändert. Dies betrifft unter anderem Fragen der Ressourcenverteilung, territoriale Streitigkeiten und Migration. Hierzu sind kooperative Strategien und diplomatische Ansätze erforderlich, um eine nachhaltige urbane Entwicklung zu gewährleisten.

Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:

— IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:

Wie können diverse Bevölkerungsgruppen in urbanen Räumen effektiv integriert werden, ohne kulturelle Identitäten zu gefährden? Welche Massnahmen können ergriffen werden, um den gesellschaftlichen Zusammenhalt, die gesellschaftliche Resilienz und Inklusion in einer sich schnell wandelnden urbanen Umgebung zu fördern?

— IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:

Wie werden neue Technologien angenommen und in das städtische Umfeld integriert, und welche Unsicherheiten sind mit diesem Prozess verbunden? Welche Auswirkungen könnte der rasante technologische Fortschritt auf Arbeitsmärkte und gesellschaftliche Normen in Städten haben? Wie können Städte den Spagat zwischen technologischer Innovation und den gesellschaftlichen Bedürfnissen und Belangen meistern? Welche ethischen Implikationen und sozialen Konsequenzen ergeben sich aus zunehmender Überwachung, künstlicher Intelligenz und Automatisierung im urbanen Raum?

— IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:

Welche Strategien können umgesetzt werden, um eine gerechte Verteilung von Ressourcen und Chancen in Städten zu gewährleisten? Wie können wirtschaftliche Ungleichheiten und Einkommensgefälle angesichts der fortschreitenden Urbanisierung reduziert werden? Welche potenziellen Folgen könnte eine zunehmende wirtschaftliche Kluft für den gesellschaftlichen Zusammenhalt und die wirtschaftliche Stabilität von Städten haben?

— IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:

Inwieweit werden ökologische Faktoren in zukünftige städtische Planungs- und Entwicklungsstrategien einfließen? Welche Strategien können Städte anwenden, um Zersiedelung, den Verlust der Biodiversität und die Auswirkungen des Klimawandels einzudämmen und gleichzeitig eine nachhaltige Entwicklung und Ressourceneffizienz zu gewährleisten? Wie können städtebauliche Entwicklungsverfahren nachhaltiger gestaltet werden, und welche Unsicherheiten bestehen hinsichtlich ihrer langfristigen ökologischen Auswirkungen?

— IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:

Vor welchen Herausforderungen stehen Regulierungsmassnahmen und Governance-Mechanismen, wenn es darum geht, das Wachstum und die Entwicklung von Städten wirksam zu steuern? Inwiefern könnten geopolitische Spannungen und divergierende Interessengruppen kooperative Lösungsansätze zur Bewältigung urbaner Herausforderungen behindern?

SCHWACHE SIGNALE:

Frühindikatoren bieten Einblicke in das Potenzial von Urbanisierungstrends und zeigen Wege für eine nachhaltige Entwicklung und integratives Wachstum auf. Städte achten heute mehr auf eine nachhaltige und menschengerechte städtebauliche Planung. Beispiele hierfür sind die Integration grüner Infrastrukturen und nachhaltiger Baumethoden. Es werden verschiedene Arten der Flächennutzung kombiniert und erneuerbare Energien genutzt, um Städte lebenswerter zu machen. Es entstehen neue Stadtentwicklungskonzepte, die den Fokus nicht mehr auf das Auto, sondern auf eine inklusive Stadtgestaltung und gemeinsam genutzte Infrastrukturen richten. Diese Ansätze zielen darauf ab, urbane Räume durch flexible Konzepte effizienter zu nutzen.

Gleichzeitig setzen sich lokale Gruppen und Bewegungen für einen gerechten Zugang zu Wohnraum, Verkehrsmitteln und öffentlichen Dienstleistungen ein. Diese Gruppen betonen die Notwendigkeit einer aktiven Bürgerbeteiligung in der Stadtplanung. Technologische Innovationen sind für Smart-City-Lösungen von entscheidender Bedeutung, da sie datenbasierte Entscheidungsprozesse ermöglichen. Ausserdem ermutigen sie die Menschen, sich an der Stadtverwaltung zu beteiligen.

Städte können auch auf internationaler Ebene durch Kooperationsnetzwerke und Plattformen zum Wissensaustausch zusammenarbeiten. Über solche Plattformen können Städte bewährte Praktiken in den Bereichen Stadtentwicklung, Resilienz und Nachhaltigkeit austauschen. Sie machen deutlich, wie wichtig die globale Zusammenarbeit bei der Lösung urbaner Herausforderungen ist. Frühe Anzeichen deuten auf einen tiefgreifenden Wandel in der Stadtentwicklung hin. Der Fokus verschiebt sich zunehmend auf den Schutz der Umwelt, auf soziale Gerechtigkeit und die Nutzung neuer Technologien. Diese Entwicklungen werden die Gestaltung der Städte der Zukunft prägen.

REFERENZEN UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

- Trendmanager-Tool von Trendone, letzter Zugriff am 06.03.2024, <https://www.trendmanager.com/>
- Europäische Kommission, «Challenges faced due to urbanisation», Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 06.03.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/topic/continuing-urbanisation/challenges-faced-due-to-urbanisation_en
- Europäische Kommission, «Continuing urbanisation» [Fortschreitende Urbanisierung], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 06.03.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/continuing-urbanisation_en
- Europäische Kommission, «Escalating green action and cities» [Ausweitung grüner Massnahmen und Städte], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 06.03.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/escalating-green-action-cities_en
- Europäische Kommission, «Increasing importance of cities» [Wachsende Bedeutung der Städte], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 06.03.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/topic/continuing-urbanisation/increasing-importance-cities_en
- Europäische Kommission, «Tech and the city» [Technologie und Städte], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 06.03.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/tech-city_en
- Europäische Kommission, «Trend: Big City Life», Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 06.03.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/big-city-life_en



3.6

DIVERSIFIZIERUNG VON BILDUNG UND LERNEN

FREISETZUNG DES LERNPOTENZIALS:
DAS TRADITIONELLE BILDUNGSKONZEPT
BRAUCHT NACHHILFESTUNDEN

BESCHREIBUNG:

Die Welt verändert sich rasant und damit auch die Art und Weise, wie Menschen lernen. Neue Technologien verändern die Bildung, neue Bildungsmethoden werden eingeführt und neue Generationen von Lernenden wachsen heran. Dies führt zu einer zunehmenden Diversifizierung von Bildung und Lernprozessen. Die Verbindung zwischen Bildung und formalen Schulen könnte an Bedeutung verlieren. Stattdessen könnten informelle und ungeplante Lernmodelle einen höheren Stellenwert erhalten. Der Satz «Ich weiss es nicht» verliert zunehmend an Relevanz, da Fortschritte in den Kognitionswissenschaften und der uneingeschränkte Zugang zu Informationen eine Vielzahl von Interessen und Lernmethoden ermöglichen.

In naher Zukunft (mehrere Jahre bis zu einem Jahrzehnt) wird die Bildungslandschaft eine Abkehr von traditionellen Klassenzimmern hin zu Erkundung, Anpassung und Coaching erleben. Die Schulen verändern sich. Haben sie früher primär

Wissen vermittelt, so werden sie jetzt zu aktiven Lernzentren, die sich an gesellschaftliche und technologische Veränderungen anpassen. Das Lernen selbst wird zum Schwerpunkt des Unterrichts. Dieser Wandel erfordert nicht nur neue Inhalte, sondern auch unterschiedliche Lernumgebungen und Lernmethoden. Darüber hinaus übernehmen Lehrkräfte zunehmend die Rolle von Lernbegleitern anstelle von blossen Wissensvermittlern. Peer-to-Peer-Lernen, Blended Learning und die Integration von Technologie gewinnen zunehmend an Bedeutung.

Langfristig wird sich die Diversifizierung von Bildung und Lernen wohl fortsetzen, doch werden hierfür neue Technologien und neue pädagogische Ansätze integriert werden. Bildung könnte noch stärker personalisiert und adaptiv werden, sodass sie individuelle Lernstile und Präferenzen stärker berücksichtigt. Der Wandel wird sich mit hoher Geschwindigkeit vollziehen. Daher wird lebenslanges Lernen unerlässlich sein. Menschen müssen die Fähigkeit entwickeln, sich anzupassen und eigenständig Wissen anzueignen.

Im Anschluss werden die Auswirkungen der Diversifizierung von Bildung und Lernen für die einzelnen Kategorien beleuchtet:

— **IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:**

Bildung wird zunehmend vielfältiger. Der Schwerpunkt liegt nun auf lebenslangem Lernen und Anpassungsfähigkeit. Zudem wird der Individualität und Selbstoptimierung ein höherer Wert beigemessen. Diese Veränderung stellt die traditionelle Vorstellung in Frage, dass Bildung ausschliesslich formale Schulbildung bedeutet. Sie fördert die Inklusion und macht Wissen für unterschiedliche Gruppen leichter zugänglich.

— **IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:**

Technologie hat das Bildungswesen grundlegend verändert. Sie ermöglicht personalisiertes Lernen sowie den Einsatz von Virtual Reality und Augmented Reality im Unterricht. Dies hat zu einem besseren Zugang zu Bildung und zu anspruchreicheren Lernerfahrungen durch KI-gestützte Tutoren und Mixed-Reality-Umgebungen geführt. Diese Innovationen tragen zur Entwicklung eines diversifizierten und vernetzten Bildungssystems bei, das immersive und interaktive Lernerfahrungen vermittelt. Es gibt jedoch Bedenken hinsichtlich der digitalen Kompetenzen, des Datenschutzes und der Ethik.

— **IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:**

Eine Neuausrichtung des Bildungswesens auf kompetenzbasiertes, lebenslanges Lernen kann die Produktivität und Anpassungsfähigkeit der Arbeitskräfte verbessern und so das Wirtschaftswachstum steigern. Eine diversifizierte Bildung begünstigt Innovationen, Kreativität und Kompetenzentwicklung, was wiederum die wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit stärkt. Die Anpassung an unterschiedliche Lernstile erhöht die Arbeitseffizienz und kommt den sich wandelnden Marktanforderungen entgegen. Zudem bieten neue Bildungsmodelle und -plattformen Chancen für Unternehmertum und Investitionen in den Bildungssektor. Ein ungleicher Zugang zu hochwertiger Bildung könnte jedoch bestehende Ungleichheiten noch verschärfen.

— **IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:**

Durch die Förderung von Fernunterricht, weniger Bedarf an physischer Infrastruktur und die Verbesserung digitaler Kompetenzen kann die CO₂-Bilanz des herkömmlichen Bildungswesens verbessert werden. Darüber hinaus kann der Fokus auf erfahrungsbasiertes Lernen und interdisziplinäre Methoden das Umwelt- und Verantwortungsbewusstsein fördern und so zu einer nachhaltigeren Denkweise führen.

— **IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:**

Die politischen Entscheidungsträger müssen die regulatorischen Rahmenbedingungen für neue Bildungsmodelle und -technologien aktualisieren, um einen hochwertigen und gerechten Zugang zu gewährleisten. Geopolitische Spannungen können den globalen Austausch von Bildungsressourcen und die Zusammenarbeit und Mobilität internationaler Studierender beeinträchtigen. Die Bewältigung regulatorischer und geopolitischer Hürden ist daher eine wesentliche Voraussetzung, um Innovationen und die internationale Zusammenarbeit im Bildungswesen zu fördern.

Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:

— **IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:**

Wie wird sich die Einstellung der Gesellschaft gegenüber herkömmlichen Bildungssystemen angesichts der zunehmenden Diversifizierung der Lernmethoden entwickeln? Wird ein gerechter Zugang zu diversifizierten Bildungschancen über verschiedene sozioökonomische Hintergründe und geographische Regionen hinweg möglich sein? Inwiefern werden kulturelle Werte und Überzeugungen die Akzeptanz und Übernahme neuer Bildungstechnologien und pädagogischer Ansätze beeinflussen? Welche Herausforderungen ergeben sich durch gesellschaftliche Vorurteile, und wie kann Inklusion in der sich wandelnden Bildungslandschaft sichergestellt werden?

— **IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:**

Welche potenziellen ethischen Implikationen ergeben sich aus einer breiten Einführung von KI-gestützten Tutoren und personalisierten Lernassistenten im Bildungswesen? Wie belastbar sind die aktuellen technologischen Infrastrukturen für die Ausbaufähigkeit und Zugänglichkeit diversifizierter Lernplattformen, insbesondere in unterversorgten Regionen? Wie können Bildungssysteme die Herausforderungen technologischer Fortschritte bewältigen und gleichzeitig deren Vorteile nutzen?

— **IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:**

Wie wird sich die Kosteneffizienz diversifizierter Bildungsmodelle im Vergleich zu herkömmlichen Bildungssystemen entwickeln, insbesondere im Hinblick auf Infrastrukturinvestitionen und Ressourcenverteilung? Inwiefern werden sich veränderte Anforderungen des Arbeitsmarktes und veränderte Qualifikationsanforderungen auf die wirtschaftliche Tragfähigkeit diversifizierter Bildungsprogramme und deren Absolventen auswirken?

— **IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:**

Welche Umweltauswirkungen ergeben sich aus der zunehmenden Abhängigkeit von elektronischen Geräten und digitalen Ressourcen im Bildungsbereich? Wie kann ökologische Nachhaltigkeit in Lehrpläne und Methoden diversifizierter Bildungssysteme integriert werden?

— **IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:**

Wie werden die regulatorischen Rahmenbedingungen angepasst, um die Qualitätssicherung und Anerkennung diversifizierter Lernerfahrungen zu gewährleisten, insbesondere wenn keine herkömmlichen institutionellen Strukturen vorhanden sind? Welche geopolitischen Spannungen könnten durch Ungleichheiten im Zugang zu diversifizierten Bildungsressourcen und -möglichkeiten in verschiedenen Regionen entstehen? Inwiefern könnten geopolitische Spannungen und regulatorische Unterschiede die internationale Zusammenarbeit im Bildungswesen und den Austausch bewährter Praktiken beeinträchtigen? Welche Strategien können angewendet werden, um sich in globalen Bildungsinitiativen angesichts der vielfältigen kulturellen und regulatorischen Gegebenheiten zurechtzufinden, insbesondere angesichts uneinheitlicher regulatorischer Vorgaben?

SCHWACHE SIGNALE:

Frühindikatoren für die Diversifizierung von Bildung und Lernen sind zunehmend erkennbar. Die Schulen entwickeln sich zu dynamischen Lernzentren, in denen Experimente und unterschiedliche Formen der Bildung gefördert werden. Dieser Wandel zeigt sich unter anderem in der Entstehung erweiterter Schulmodelle, der Auslagerung von Bildungsdienstleistungen und dem Konzept des «Learning-as-you-go». Zudem verändert sich die Rolle der Lehrkräfte. Neue Lernakteure übernehmen verschiedene Funktionen im Bildungswesen.

Es werden zudem Mixed-Reality-Angebote in Lernumgebungen integriert, die immersive und interaktive Bildungserfahrungen ermöglichen. Diese Frühindikatoren veranschaulichen deutlich die sich wandelnde Bildungslandschaft. Traditionelle Grenzen verschwimmen, und neue Möglichkeiten für personalisiertes und erfahrungsbasiertes Lernen tun sich hervor. Mikro-Lernplattformen, personalisierte Lern-Apps und Online-Kurse spiegeln den Trend hin zur personalisierten Wissensvermittlung wider, die den individuellen Vorlieben und Bedürfnissen der Lernenden gerecht wird. Das Aufkommen KI-gestützter Tutoren und personalisierter Lernassistenten verdeutlicht zusätzlich das Potenzial für wirklich individualisierte Lernerfahrungen. Alternative Lerngemeinschaften, wie etwa «Massive Open Online Courses», bieten Flexibilität und vielfältige Perspektiven jenseits herkömmlicher Bildungsformen. Darüber hinaus wächst das Interesse an erfahrungsbasiertem Lernen, Maker-Spaces und Gamification. Diese Ansätze legen den Schwerpunkt auf praxisnahe und interaktive Lernerfahrungen. Diese Trends sind vielversprechend, doch es bleibt ungewiss, in welchem Ausmass sie Bildung und Gesellschaft langfristig beeinflussen werden.

REFERENZEN UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

- Europäische Kommission, «Diversification of education and learning» [Diversifizierung von Bildung und Lernen], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 15.02.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/diversification-education-learning_en
- Trendmanager-Tool von Trendone, letzter Zugriff am 21.01.2024, <https://www.trendmanager.com/>
- Europäische Kommission, «New Learning Agents» [Neue Lernakteure], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 15.02.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/new-learning-agents_en
- Europäische Kommission, «Schools in transformation» [Schulen im Wandel], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 15.02.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/schools-transformation_en
- Europäische Kommission, «Teach the Future» [Die Zukunft lehren], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 15.02.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/teach-future_en



3.7

ZUNEHMENDE UNGLEICHHEITEN

DIE KLUFFT ÜBERBRÜCKEN: SOZIOÖKONOMISCHE UNGLEICHHEITEN

BESCHREIBUNG:

Die Ungleichheiten nehmen zu, d. h. die Kluft zwischen den reichsten und ärmsten Menschen in der Gesellschaft wird grösser. Dies geschieht trotz der erzielten Fortschritte bei der Reduzierung extremer Armut. Ungleichheit ist und bleibt eine Herausforderung. Solche Ungleichheiten erstrecken sich auf verschiedene Lebensbereiche, darunter Bildung, Beschäftigung, Gesundheit und die Verteilung von Wohlstand. Sie betreffen Menschen in unterschiedlichem Masse – abhängig von Faktoren wie Geschlecht, Alter, ethnischer Herkunft, sozialer Klasse, Migrationsstatus und Wohnort – und beeinflussen massgeblich, wer die Chance zu einem Leben in Wohlstand hat. Die COVID-19-Pandemie hat bestehende Ungleichheiten weiter verschärft und verdeutlicht, wie dringend sich politische Entscheidungsträger mit dem Problem der wachsenden Ungleichheiten befassen müssen.

In naher Zukunft (mehrere Jahre bis zu einem Jahrzehnt) sollten sich die Massnahmen zur Eindämmung wachsender Ungleichheiten auf die Umsetzung von Massnahmen konzentrieren, die einen gerechteren Zugang zu Bildung, Beschäftigung und Gesundheitsversorgung schaffen. Initiativen zur Überbrückung der Kluft zwischen wohlhabenden und marginalisierten Gruppen muss Priorität eingeräumt werden. Dazu gehören gezielte Sozialprogramme und eine Wirtschaftspolitik, die eine inklusive Teilhabe aller ermöglichen. Darüber hinaus ist die Beseitigung struktureller Barrieren entscheidend für den gesellschaftlichen Zusammenhalt und die nachhaltige Entwicklung. Zu diesen Barrieren zählen unter anderem die Diskriminierung auf dem Arbeitsmarkt und die ungleiche Verteilung von Ressourcen, was bestehende Ungleichheiten immer weiter fortbestehen lässt.

Langfristig sind nachhaltige Anstrengungen zur Bekämpfung zunehmender Ungleichheiten unerlässlich, um eine gerechte und inklusive Gesellschaft sicherzustellen. Politische Massnahmen und Interventionen sollten sich auf systemische Faktoren konzentrieren, die Ungleichheit verursachen, wie etwa institutionelle Vorurteile und fehlende Chancengleichheit. Dies erfordert einen umfassenden Ansatz, der soziale, wirtschaftliche und ökologische Aspekte miteinander verbindet. Nur so kann langfristige Gerechtigkeit und Wohlstand für alle gewährleistet werden.

Im Anschluss werden die Auswirkungen der zunehmenden Ungleichheiten für die einzelnen Kategorien beleuchtet:

— **IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:**

Soziale und kulturelle Ungleichheiten untergraben den gesellschaftlichen Zusammenhalt und führen zur Spaltung der Gemeinschaft. Sie sind oft Auslöser für politische Unzufriedenheit und Proteste. Wachsende Ungleichheiten beeinflussen die Wahrnehmung von Gerechtigkeit und sozialer Einheit. Bewegungen wie «Black Lives Matter» oder Bewegungen für Klimagerechtigkeit wollen das Bewusstsein schärfen und Widerstand leisten. Sie zeigen, dass der Kampf gegen systemische Ungerechtigkeit für die gesellschaftliche Harmonie und den gesellschaftlichen Fortschritt von wesentlicher Bedeutung ist.

— **IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:**

Der technologische Fortschritt kann Ungleichheiten entweder verstärken oder abschwächen – abhängig von seiner Nutzung und Regulierung. Automatisierung und Digitalisierung können zum Verlust von Arbeitsplätzen führen, was die Kluft zwischen qualifizierten und unqualifizierten Arbeitskräften und die Einkommensunterschiede vergrößern könnte. Technologien und Geschäftsmodelle, die soziale und ökologische Probleme angehen, zeigen den Bedarf an inklusiven Lösungen. Ohne gezielte Massnahmen zur Sicherstellung eines fairen Zugangs und einer gerechten Verteilung der Vorteile besteht jedoch die Gefahr, dass Technologien die Ungleichheiten durch den Ausschluss bestimmter Gruppen noch verschärft.

— **IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:**

Der eingeschränkte Zugang zu Ressourcen für marginalisierte Gruppen hemmt das Wirtschaftswachstum und Innovationen und trägt somit zur Verschärfung wirtschaftlicher und sozialer Ungleichheiten bei. Dies wirkt sich negativ auf die wirtschaftliche Stabilität aus und verhindert soziale Mobilität, wodurch soziale Schichten undurchlässig bleiben. Die politischen Entscheidungsträger sind sich bewusst, wie wichtig es ist, die wirtschaftliche Ungleichheit zu bekämpfen, etwa durch Vermögenssteuern und progressive politische Massnahmen.

— **IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:**

Umweltzerstörung verstärkt bestehende Ungleichheiten, da sie einkommensschwache und marginalisierte Gemeinschaften, denen die Mittel zur Anpassung fehlen, besonders hart trifft. Diese Gruppen leiden oft am stärksten unter den Umweltauswirkungen, was die Notwendigkeit unterstreicht, ökologische Ungerechtigkeiten zu bekämpfen, um Ungleichheiten entgegenzuwirken. Dazu zählen die Gewährleistung des Zugangs zu sauberer Luft, sauberem Wasser und sauberen Ressourcen für vulnerable Gruppen sowie die Förderung nachhaltiger Unternehmen und erneuerbarer Energielösungen, im Sinne eines inklusiven ökologischen Fortschritts.

— **IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:**

Regulatorische Rahmenbedingungen und geopolitische Dynamiken beeinflussen die gerechte Ressourcenverteilung und benachteiligen häufig marginalisierte und vulnerable Gruppen. Die politische Debatte konzentriert sich zunehmend auf die Bekämpfung der Ungleichheit durch Mittel wie Vermögenssteuern und bedingungsloses Grundeinkommen, was auf eine sich ändernde Regulierung hinweist. Geopolitische Spannungen und unterschiedliche Regulierungsmethoden behindern jedoch gemeinsame Anstrengungen zur Bekämpfung globaler Ungleichheiten. Dies unterstreicht die Notwendigkeit internationaler Zusammenarbeit und der Harmonisierung politischer Massnahmen.

Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:

— **IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:**

Wie wird sich die Einstellung der Gesellschaft zur Ungleichheit entwickeln? Wird es zu einer verstärkten Polarisierung kommen, oder wird es einen kollektiven Vorstoss für mehr Gerechtigkeit geben? Wie prägen kulturelle Normen und Werte die Wahrnehmung von Fairness und Gerechtigkeit, und inwieweit beeinflussen sie politische Entscheidungen zur Bekämpfung sozialer Ungleichheit?

— **IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:**

Inwiefern gibt der rasante technologische Wandel Anlass zur Sorge in Bezug auf fehlende Qualifikationen und auf den Verlust des Arbeitsplatzes, insbesondere in marginalisierten Gemeinschaften?

— **IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:**

Welche Auswirkungen werden globale wirtschaftliche Veränderungen und Krisen auf die Entwicklung der Ungleichheit haben? Wie werden sich Veränderungen auf den Arbeitsmärkten, darunter die Zunahme der Gig-Economy und der Telearbeit, auf die Einkommensverteilung auswirken? Ist die Wirtschaftspolitik in der Lage, strukturelle Hürden für die Vermögensbildung wirksam abzubauen und inklusives Wachstum zu fördern?

— **IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:**

Wie wirken sich Klimawandel und Naturkatastrophen unverhältnismässig stark auf vulnerable Bevölkerungsgruppen aus und verschärfen Ungleichheiten beim Zugang zu Ressourcen und Resilienz?

— **IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:**

Wie wirken sich geopolitische Spannungen und regulatorische Rahmenbedingungen auf die Bemühungen zur Bekämpfung von Ungleichheit aus, und inwieweit sind diese auf die Ziele der sozialen Gerechtigkeit und Gleichheit ausgerichtet?

SCHWACHE SIGNALE:

Mehrere Anzeichen lassen sich als Frühindikatoren für die potenzielle Entwicklung zunehmender Ungleichheiten ausmachen. Ein deutliches Anzeichen ist die Diskrepanz zwischen Einkommen und Vermögen, das sich unter anderem in stark steigenden Lebenshaltungskosten widerspiegelt, die nicht von einem vergleichbaren Einkommenswachstum ausgeglichen werden. Zudem nehmen Proteste und soziale Bewegungen zu. So verdeutlichen beispielsweise Bewegungen wie «Black Lives Matter» und die Kampagnen für Klimagerechtigkeit, dass die Menschen sich der systemischen Ungleichheiten stärker bewusst sind und dagegen vorgehen.

Zusätzlich dazu entstehen neue Technologien und Geschäftsmodelle, die sich gezielt mit sozialen und ökologischen Herausforderungen befassen. Beispiele hierfür sind Innovationen im Bereich erneuerbarer Energien sowie nachhaltige Geschäftspraktiken. Auch der politische Diskurs und politische Prioritäten fokussieren sich nun stärker auf die Reduzierung sozialer Ungleichheiten. Vorschläge wie Vermögenssteuern, ein bedingungsloses Grundeinkommen und progressive wirtschaftspolitische Massnahmen gewinnen in einigen Ländern an Popularität. Diese Signale machen deutlich, dass die zunehmenden Ungleichheiten dringend angegangen werden müssen.

REFERENZEN UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

- Europäische Kommission, «Gender inequalities, still a gap» [Geschlechterungleichheiten – immer noch eine Lücke], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 28.02.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/gender-inequalities-still-gap_en
- Europäische Kommission, «Geographical inequalities are widening» [Geographische Ungleichheiten nehmen zu], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 28.02.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/geographical-inequalities-are-widening_en
- Europäische Kommission, «Growing disparities in labour markets» [Zunehmende Ungleichheiten auf den Arbeitsmärkten], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 28.02.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/growing-disparities-labour-markets_en
- Europäische Kommission, «Social cohesion erosion» [Erosion des gesellschaftlichen Zusammenhalts], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 28.02.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/social-cohesion-erosion_en
- Europäische Kommission, «Social cohesion erosion» [Erosion des gesellschaftlichen Zusammenhalts], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 28.02.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/social-cohesion-erosion_en
- Europäische Kommission, «Who can afford the digital and green transition?» [Wer kann sich den digitalen und ökologischen Wandel leisten?], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 28.02.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/who-can-afford-digital-green-transition_en
- Europäische Kommission, «Widening inequalities» [Zunehmende Ungleichheiten], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 28.02.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/diversifying-inequalities_en



3.8

WACHSENDER EINFLUSS VON OST UND SÜD

AUFSTREBENDE WIRTSCHAFTSMÄCHTE:
VERSCHIEBUNG DER GLOBALEN DYNAMIKEN

BESCHREIBUNG:

Die globale Wirtschaftslandschaft erfährt einen tiefgreifenden Wandel, der durch den Aufstieg nicht-westlicher Volkswirtschaften geprägt ist. Dieser Megatrend beschreibt die Verlagerung der globalen Wirtschaftsmacht – weg von den traditionellen westlichen Industrieländern hin zu Schwellenländern und sich entwickelnden Volkswirtschaften. In den letzten Jahren haben sieben Länder – China, Indien, Indonesien, Brasilien, Russland, Mexiko und die Türkei – ein beeindruckendes Wirtschaftswachstum verzeichnet. Diese auch als E7-Staaten bekannten Länder stellen zunehmend eine Herausforderung für die wirtschaftsstarken G7-Staaten dar. Diese Verschiebung der Wirtschaftskraft wird durch rasante Industrialisierung, technologische Fortschritte, demographische Entwicklungen und strategische Wirtschaftspolitiken vorangetrieben.

In naher Zukunft (mehrere Jahre bis zu einem Jahrzehnt) wird die wirtschaftliche Macht nicht-westlicher Länder voraussichtlich weiter zunehmen. Die E7-Staaten könnten dabei ihre Wirtschaftsleistung im Vergleich zu den G7-Staaten verdoppeln. China wird Prognosen zufolge die Vereinigten Staaten als größte Volkswirtschaft der Welt überholen,

was auf sein anhaltend hohes Wirtschaftswachstum und seine führende Rolle im Bereich technologischer Innovationen zurückzuführen ist. In der Zwischenzeit werden Schwellenländer und sich entwickelnde Volkswirtschaften voraussichtlich weiterhin ein starkes Wachstum verzeichnen und sich schneller entwickeln als fortgeschrittene Volkswirtschaften.

Langfristig wird der wirtschaftliche Einfluss nicht-westlicher Volkswirtschaften voraussichtlich weiter steigen. Asien könnte wirtschaftlich stärker werden als Nordamerika und Europa zusammen. Bis 2050 wird Asien mehr als 50% der weltweiten Wirtschaftsleistung erbringen, allen voran China und Indien. Indonesien und Brasilien werden ebenfalls von der Neuausrichtung der globalen Wirtschaftsordnung profitieren. Darüber hinaus entwickelt sich Afrika zu einem wichtigen Akteur in der Weltwirtschaft, was sich aus der neu geschaffenen afrikanischen Freihandelszone erklärt. Afrikanische Staaten diversifizieren zudem ihre Wirtschaft mit Fokus auf inklusivem und nachhaltigem Wachstum – einem Kernziel der Agenda 2063. Insgesamt werden die BRICS-Staaten (Brasilien, Russland, Indien, China und Südafrika) an Einfluss gewinnen. Ihr Handelsbündnis wird ein Gegenentwurf zur westlichen Handelsunion werden.

Im Anschluss werden die Relevanz und die Auswirkungen des wachsenden Einflusses von Ost und Süd für die einzelnen Kategorien beleuchtet:

— **IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:**

Der Aufstieg der Schwellenländer verändert deren kulturelles Gewicht und gesellschaftliche Wahrnehmung. Kulturelle Einflüsse führen zu neuen Trends. Der wachsende Einfluss von Ost und Süd verändert globale kulturelle Dynamiken. Kulturen aus Asien und Afrika beeinflussen Kunst, Gastronomie und Unterhaltung auf der ganzen Welt. Unterschiedliche Werte und Normen können jedoch zu kulturellen Spannungen führen. Daher sind Dialog und Verhandlungsbereitschaft gefragt, um den gegenseitigen Respekt und die Zusammenarbeit sicherzustellen.

— **IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:**

Aufstrebende Volkswirtschaften treiben den technologischen Fortschritt und die digitale Transformation durch verstärkte Investitionen in Technologie und Innovation voran. Sie adaptieren auf schnelle Weise digitale Technologien, errichten Innovationszentren, gestalten globale Märkte neu und intensivieren den Wettbewerb. Besonders in den Bereichen KI, erneuerbare Energien und digitale Infrastruktur fordern nicht-westliche Volkswirtschaften die technologische Vorherrschaft westlicher Länder heraus. Der zunehmende technologische Wettbewerb verlangt nach regulatorischen Rahmenbedingungen für Datenschutz, Cyber-Sicherheit und geistige Eigentumsrechte.

— **IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:**

Nachhaltiger Konsum sowie Recycling und Upcycling fördern Innovation und Unternehmertum und schaffen neue Märkte für umweltfreundliche Produkte. Die Mittelschicht in den USA und in der EU ist in den letzten Jahren deutlich geschrumpft. Dies könnte dazu führen, dass Produkte und Dienstleistungen für einkommensschwächere Bevölkerungsgruppen an Beliebtheit gewinnen.

— **IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:**

Die wachsende wirtschaftliche Bedeutung des Ostens und des Südens hat erhebliche ökologische Konsequenzen. Die rasante Industrialisierung und Urbanisierung in diesen Regionen tragen zu globalen Umweltproblemen wie Klimawandel und Ressourcenerschöpfung bei. Diese Volkswirtschaften müssen auf eine ökologisch nachhaltige Weise wachsen. Die Zusammenarbeit zwischen den Ländern des Ostens, des Südens und des Westens ist von entscheidender Bedeutung, um gemeinsame Umweltprobleme anzugehen und den Übergang zu einer nachhaltigeren globalen Wirtschaft zu ermöglichen.

— **IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:**

Der Aufstieg nicht-westlicher Volkswirtschaften verändert die geopolitischen Machtverhältnisse, was zur Bildung neuer Allianzen und einer zunehmend multipolaren Weltordnung führt. Regulatorische Rahmenbedingungen müssen weite-

rentwickelt werden, um der sich verändernden Landschaft des internationalen Handels und der Investitionen Rechnung zu tragen. Hierbei gilt es, regionale Interessen auszugleichen und gleichzeitig einen fairen Wettbewerb und die Einhaltung globaler Standards zu gewährleisten.

Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:

— **IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:**

In welcher Form könnten kulturelle Konflikte auftreten, wenn traditionelle Werte auf Modernisierung und Globalisierung treffen?

— **IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:**

Wie kann der Schutz geistigen Eigentums über nationale Grenzen hinweg gewährleistet werden? Lassen sich Unterschiede in der Nutzung und Entwicklung neuer Technologien in verschiedenen Ländern überwinden?

— **IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:**

Wie könnten wirtschaftliche Ungleichgewichte zwischen entwickelten und sich entwickelnden Volkswirtschaften die globale Instabilität weiter verschärfen? Welche Unsicherheiten bestehen hinsichtlich der Verflechtung globaler Lieferketten und der Auswirkungen protektionistischer Handelspolitik?

— **IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:**

Wie könnten sich Unsicherheiten hinsichtlich der ökologischen Nachhaltigkeit auf grenzüberschreitende Entscheidungsprozesse auswirken? In welcher Weise könnte die Dringlichkeit, Umweltprobleme zu bewältigen, die internationale Zusammenarbeit beeinflussen?

— **IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:**

Inwiefern könnte der Wettbewerb um Einfluss und Ressourcen zwischen Staaten zu geopolitischen Spannungen beitragen? Welche potenziellen Instabilitäten und Konflikte könnten aus der Fragmentierung der Globalisierung in regionale Handelsblöcke hervorgehen? In welcher Weise fordern populistischer Nationalismus und sich wandelnde politische Dynamiken traditionelle Formen internationaler Zusammenarbeit und Handelsbeziehungen heraus?

SCHWACHE SIGNALE:

Erste Anzeichen deuten darauf hin, dass der Osten und der Süden an Einfluss gewinnen. Die Volkswirtschaften Asiens verzeichnen ein stetiges Wachstum, wobei sich China bereits zu einer bedeutenden globalen Wirtschaftsmacht entwickelt hat. Afrika setzt verstärkt auf inklusives und nachhaltiges Wachstum, wie es in seiner Agenda 2063 und in regionalen Integrationsprojekten wie etwa der Afrikanischen Kontinentalen Freihandelszone skizziert wird. Dieses Projekt ermöglicht den freien Verkehr von Waren, geistigem Eigentum und Kapital zwischen afrikanischen Ländern und wird einer Bevölkerung von 1,46 Milliarden Menschen zugutekommen. Die Vereinigung der BRICS-Staaten zielt darauf ab, als Gegenentwurf zu den USA und den vom Westen dominierten Handelsblöcken Handelsbeziehungen mit nicht-westlichen Ländern aufzubauen. Zusätzlich treibt China die «Neue Seidenstrasse» (Belt and Road Initiative) weiter voran, die Milliardenprojekte in Asien, Afrika und Europa umfasst.

Diese Entwicklungen machen die sich wandelnden globalen Machtverhältnisse deutlich. Sie prägen die Zukunft der wirtschaftlichen Kraftverhältnisse und der globalen Zusammenarbeit. Gleichzeitig zeichnen sie jedoch auch das Bild von einer Welt mit weniger dominanten Staaten. Der Welthandel ist nach wie vor von zentraler Bedeutung, wird jedoch zunehmend im Rahmen regionaler Kooperationen organisiert.

REFERENZEN UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

- Europäische Kommission, «Expanding influence of East and South» [Wachsender Einfluss von Ost und Süd], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.02.2024
https://knowledge4policy.ec.europa.eu/climate-change-environmental-degradation_en
- Europäische Kommission, «Increasing fragmentation of globalisation» [Zunehmende Fragmentierung der Globalisierung], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.02.2024
https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/increasing-fragmentation-globalisation_en
- Europäische Kommission, «Future of the international order at a crossroads» [Die Zukunft der Weltordnung am Scheideweg], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.02.2024
https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/future-international-order-crossroads_en
- Europäische Kommission, «Africa's growth potential» [Afrikas Wachstumspotenzial], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.02.2024
https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/africas-growth-potential_en
- Europäische Kommission, «Potential implications on Expanding Influence of East and South» [Mögliche Auswirkungen auf den wachsenden Einfluss von Ost und Süd], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.02.2024
https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/topic/expanding-influence-east-south/potential-implications-on-expanding-influence-east-south_en



3.9

WACHSENDER KONSUM

VOM BOOM DER MITTELSCHICHT
BIS ZUM NACHHALTIGEN VERBRAUCH

BESCHREIBUNG:

Die globale Konsumentenklasse boomt, da Milliarden von Menschen mit wachsender Kaufkraft auf den Markt drängen. Bis zum Jahr 2035 wird erwartet, dass die globale Mittelschicht auf 5,5 Milliarden Menschen anwachsen wird, wobei vor allem Asien zu diesem Wachstum signifikant beitragen wird. Besonders in aufstrebenden Volkswirtschaften nimmt die Mittelschicht kontinuierlich zu. Es entstehen zudem Geschäftsmodelle, die gezielt auf einkommensschwächere Bevölkerungsschichten ausgerichtet sind. Diese Veränderungen bestimmen, was Konsumentinnen und Konsumenten kaufen und wie Güter weltweit produziert werden. Darüber hinaus beeinflussen sie gesellschaftliche Werte und die Struktur von Wirtschaftssystemen. Konsumentinnen und Konsumenten treffen Kaufentscheidungen zunehmend bewusster. Sie legen Wert auf Nachhaltigkeit und persönliches Wohlbefinden. Zudem erwarten sie personalisierte und interaktive Einkaufserlebnisse, die durch technologische Entwicklungen verbessert werden. Dieser Megatrend wird von mehreren Faktoren begünstigt, darunter wirtschaftliches Wachstum und Urbanisierung. Auch der demographische Wandel spielt eine Rolle. Zusätzlich tragen steigende Einkommen und das Streben nach einer höheren Lebensqualität zu diesem Trend bei.

In naher Zukunft (mehrere Jahre bis zu einem Jahrzehnt) wird das Wachstum der Verbrauchermärkte, insbesondere

in aufstrebenden Volkswirtschaften, weiter anhalten. Mit steigendem verfügbarem Einkommen werden Menschen voraussichtlich mehr für Waren und Dienstleistungen ausgeben. Diese zunehmenden Konsumausgaben werden den Unternehmen in verschiedenen Sektoren wichtige Chancen eröffnen. Technologische Verbesserungen und Online-Handelsplattformen werden den Zugang zu Produkten und Dienstleistungen vereinfachen und so das Kaufverhalten weltweit beflügeln. Zudem werden die virtuelle und die erweiterte Realität völlig neue Einkaufserlebnisse generieren, indem sie Produktpassungen und virtuelle Erkundungen ermöglichen. Gleichzeitig gewinnt nachhaltiger Konsum an Bedeutung. Immer mehr Menschen bevorzugen Produkte und Dienstleistungen, die mit ihren Werten und gesellschaftlichen Anschauungen übereinstimmen. Dieser Wandel wird dazu führen, dass Industrien, Lieferketten und Geschäftsmodelle stärker auf Nachhaltigkeit ausgerichtet werden. Zudem wird er für mehr Innovationen und Investitionen in erneuerbare Ressourcen sorgen und Praktiken der Kreislaufwirtschaft vorantreiben.

Langfristig wird erwartet, dass sich der Trend zu mehr Konsum fortsetzen wird. Allerdings könnten sich die Kaufgewohnheiten ändern und neue Konsumtrends entstehen. In sich entwickelnden Volkswirtschaften könnte die wachsende Mittelschicht zunehmend an Einfluss gewinnen und somit die globale Konsumkultur prägen. Dies könnte sich auf Markttrends in Bereichen wie Mode und Technologie auswirken.

Im Anschluss werden die Auswirkungen des wachsenden Konsums für die einzelnen Kategorien beleuchtet:

— **IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:**

Der wachsende Konsum spiegelt die sich verändernden gesellschaftlichen Werte und Ambitionen wider, die Individuen motivieren, einen besseren Lebensstil und bessere Konsumerlebnisse anzustreben. Insbesondere in aufstrebenden Volkswirtschaften treffen Konsumentinnen und Konsumenten zunehmend bewusstere Kaufentscheidungen, was die Nachfrage nach Waren und Dienstleistungen ankurbelt, die gemäss ethischen Standards hergestellt bzw. erbracht werden. Zudem erwarten sie von Marken einen Mehrwert, der über das Produkt hinausgeht und beispielsweise über die sozialen Medien vermittelt wird. Dieser Wandel prägt die globale Konsumkultur und wirkt sich auf alle Bereiche von der Lieferkette bis zu den Marketingstrategien aus.

— **IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:**

Erneuerbare Technologien und digitale Plattformen entwickeln sich kontinuierlich weiter und ermöglichen informierte und nachhaltige Kaufentscheidungen. Mit den rasanten Fortschritten im E-Commerce und personalisierten Marketing – verbessert durch Datenanalysen und Algorithmen – werden Einkaufserlebnisse immer stärker personalisiert und automatisiert. Die virtuelle und erweiterte Realität schaffen ein immersives Einkaufserlebnis, ohne physisch vor Ort sein zu müssen. Dieser technologische Fortschritt erweitert nicht nur die Verbrauchermärkte, sondern verändert auch das Konsumverhalten, indem Zugänglichkeit, Personalisierung und Interaktivität verbessert werden. Darüber hinaus vereinfachen digitale Bezahlssysteme Transaktionen und fördern so einen höheren Konsum.

— **IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:**

Nachhaltiger Konsum sowie Recycling und Upcycling fördern Innovation und Unternehmertum und schaffen neue Märkte für umweltfreundliche Produkte. Die Mittelschicht in den USA und in der EU ist in den letzten Jahren deutlich geschrumpft. Dies könnte dazu führen, dass Produkte und Dienstleistungen für einkommensschwächere Bevölkerungsgruppen an Beliebtheit gewinnen.

— **IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:**

Nachhaltiger Konsum senkt die durch den Ressourcenverbrauch entstehende Umweltbelastung und reduziert den Druck auf natürliche Ressourcen und Ökosysteme. Dies geschieht unter anderem durch Recycling, die Nutzung erneuerbarer Energien und eine nachhaltige Landwirtschaft. Allerdings bleibt zu bedenken, dass der allgemeine Anstieg des Konsums diese positiven Effekte neutralisieren könnte.

— **IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:**

Damit nachhaltiger Konsum zur Norm wird, sind verschiedene Herausforderungen zu bewältigen. Dazu zählt, dass nachhaltige Produkte erschwinglich und leicht zugänglich

sein müssen. Digitale Produkte erfassen Nutzerverhalten und Kaufdaten. Hier ist eine klare regulatorische Rahmensetzung erforderlich, die definiert, wie persönliche Daten erfasst, gespeichert und verwendet werden dürfen. Darüber hinaus beeinflussen geopolitische Spannungen und Handelsabkommen die globalen Lieferketten, was sich weithin auf die Verfügbarkeit und Erschwinglichkeit von Konsumgütern auswirkt.

Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:

— **IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:**

Werden Verbraucherpräferenzen weiterhin auf Nachhaltigkeit und ethische Praktiken ausgerichtet sein oder werden aber Bequemlichkeit und Erschwinglichkeit die Kaufentscheidungen dominieren? Wie werden kulturelle Veränderungen und gesellschaftliche Werte die Konsummuster in den verschiedenen Regionen beeinflussen? Gibt es potenzielle kulturelle Barrieren, welche die breite Akzeptanz nachhaltiger Konsumpraktiken erschweren könnten?

— **IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:**

Welche Rolle werden die neuen Technologien bei der Gestaltung des künftigen Konsums spielen? Könnten Fortschritte in Automatisierung und künstlicher Intelligenz zu weiteren Ungleichheiten beim Zugang zu Waren und Dienstleistungen führen? Werden Bedenken hinsichtlich Datenschutz und Datensicherheit das Vertrauen der Konsumentinnen und Konsumenten in digitale Handelsplattformen beeinflussen?

— **IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:**

Wie werden sich Konjunkturschwankungen und die Dynamik der Weltmärkte auf das Verbrauchervertrauen und die Konsummuster auswirken? Wird eine zunehmende Einkommensungleichheit das Wachstum der Mittelschicht hemmen und die Konsummöglichkeiten einschränken? Welche Auswirkungen werden wirtschaftliche Schocks wie Rezessionen oder Handelskonflikte auf Konsumverhalten und Kaufkraft haben?

— **IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:**

Welche Folgen haben Ressourcenschöpfung und Umweltverschmutzung, die durch eine steigende Nachfrage nach Gütern verursacht werden? Kann die Industrie ihr System rechtzeitig auf nachhaltige Produktionsmethoden und auf die Kreislaufwirtschaft umstellen, um der durch den wachsenden Konsum bedingten Umweltzerstörung entgegenzuwirken? Wie werden Klimawandel und Extremwetterereignisse globale Lieferketten stören und den Zugang der Konsumentinnen und Konsumenten zu lebenswichtigen Produkten beeinträchtigen?

— **IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:**

Wie werden sich Änderungen von Handelsabkommen, Zollbestimmungen und internationalen Vorschriften auf die Verfügbarkeit und Erschwinglichkeit von Konsumgütern auswirken? Werden Regierungen Massnahmen ergreifen, um Anreize für nachhaltigen Konsum zu schaffen und umweltschädliche Praktiken zu sanktionieren?

SCHWACHE SIGNALE:

Es gibt schwache Signale des wachsenden Konsums, die darauf hindeuten, dass Konsumentinnen und Konsumenten zunehmend nachhaltige Produkte und ethische Praktiken nachfragen, insbesondere in wohlhabenden Regionen. Initiativen der Kreislaufwirtschaft verstärken diesen Wandel. Zusammen mit digitalen Bezahlssystemen erleichtern sie nicht nur den Konsum, sondern ermöglichen es Unternehmen auch, ihre Angebote zu personalisieren. Zudem werden im Zuge des Trends zum bewussten Konsum Marken bevorzugt, die sich an gesellschaftlichen Werten orientieren, was zu einer deutlichen Verlagerung der Konsummuster hin zu mehr Nachhaltigkeit führt. In der «Ökonomie der Aufmerksamkeit» setzen Marken zunehmend auf zweckorientiertes Marketing, wobei Risiken wie Greenwashing weiterhin bestehen. Der Konsum 2.0 wird durch Technologie geprägt und ist mit einer intensiven Nutzung digitaler Dienste sowie einer steigenden Aufmerksamkeit für das Wohlbefinden verbunden. Ältere und aktive Konsumentinnen und Konsumenten erwarten massgeschneiderte Erlebnisse; das Konzept der «Erlebniskultur» unterstreicht die Nachfrage nach immersiven Erlebnissen und prägt somit die Zukunft des digitalen Konsums.

REFERENZEN UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

- Europäische Kommission, «Growing consumption» [Wachsender Konsum], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.02.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/growing-consumerism_en
- Europäische Kommission, «Sustainable consumption» [Nachhaltiger Konsum], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.02.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/sustainable-consumption_en
- Europäische Kommission, «Our digital lives» [Unser digitales Leben] Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.02.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/our-digital-lives_en
- Europäische Kommission, «Consumer-centricity» [Verbraucherorientierung], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.01.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/consumer-centricity_en
- Trendmanager-Tool von Trendone, letzter Zugriff am 21.02.2024, <https://www.trendmanager.com/>



3.10

ZUNEHMENDE DEMOGRAPHISCHE UNGLEICHGEWICHTE

DIE DEMOGRAPHISCHE KLUFF:
BALANCE ZWISCHEN WACHSTUM UND RÜCKGANG

BESCHREIBUNG:

Dieser Megatrend verdeutlicht die Veränderungen in der Altersstruktur der Bevölkerung. Es zeigt sich ein Anstieg des Anteils älterer Menschen sowie zahlenmässige Veränderungen einzelner Altersgruppen. Dies hat erhebliche Auswirkungen auf die Arbeitsmärkte, was wiederum Folgen für die Wirtschaft, für Einkommensungleichheiten, für das Wahlverhalten und die öffentlichen Finanzen nach sich zieht.

Die Weltbevölkerung wächst rasant und wird voraussichtlich bis 2050 eine Bevölkerungszahl von 9,7 Milliarden Menschen erreichen. Ein Grossteil dieses Wachstums findet in Subsahara-Afrika statt. Gleichzeitig verzeichnen viele entwickelte Länder ein sehr geringes oder gar kein Bevölkerungswachstum – einige verzeichnen sogar einen Bevölkerungsrückgang.

Die Populationsdynamik verändert sich aus verschiedenen Gründen, darunter Geburtenraten, Sterberaten, Migration oder demographische Alterung. Diese Trends führen weltweit zu spürbaren demographischen Ungleichgewichten, da sich die einzelnen Regionen in unterschiedlichen Phasen des demographischen Wandels befinden.

In naher Zukunft (mehrere Jahre bis zu einem Jahrzehnt)

werden demographische Ungleichgewichte immer offensichtlicher werden. Länder mit hohem Einkommen könnten ein stagnierendes oder gar rückläufiges Bevölkerungswachstum erfahren, was zu entsprechenden Problemen führen könnte. Eine Herausforderung ist eine alternde Gesellschaft und Erwerbsbevölkerung. Ein weiteres Problem ist der zunehmende Druck auf die Gesundheits- und Rentensysteme. Während Subsahara-Afrika voraussichtlich ein rasches Bevölkerungswachstum verzeichnen wird, werden diese demographischen Veränderungen die Volkswirtschaften, Sozialstrukturen und Strategien zum Ressourcenmanagement weltweit vor Herausforderungen stellen.

Langfristig

werden demographische Ungleichgewichte vermutlich anhalten und sich möglicherweise noch verschärfen. Dies wird Auswirkungen auf das Wirtschaftswachstum, die soziale Stabilität und die Weltpolitik haben. Länder mit hohem Einkommen, deren Bevölkerung stagniert oder schrumpft, könnten ihre Einwanderungspolitik und Arbeitsmarktdynamik ändern. Gleichzeitig könnten Regionen mit schnell wachsenden jungen Bevölkerungsgruppen vor besonderen sozioökonomischen Herausforderungen stehen, darunter Unzufriedenheit, Armut und hohe Jugendarbeitslosigkeit. Zur Lösung dieser Probleme sind erhebliche Investitionen in Bildung und berufliche Qualifizierung erforderlich.

Im Anschluss werden die Auswirkungen der zunehmenden demographischen Ungleichgewichte für die einzelnen Kategorien beleuchtet:

— **IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:**

Alternde Bevölkerungen in entwickelten Ländern sind mit einer wachsenden Ungleichheit zwischen den Generationen konfrontiert. Jüngere Generationen, die ältere Angehörige finanziell unterstützen müssen, sehen sich begrenzten Beschäftigungsmöglichkeiten und potenziellen wirtschaftlichen Nöten ausgesetzt. Gleichzeitig könnten Regionen mit wachsender junger Bevölkerung mit sozioökonomischen Herausforderungen wie Unzufriedenheit und hoher Jugendarbeitslosigkeit konfrontiert sein, was den gesellschaftlichen Zusammenhalt und die Stabilität beeinträchtigen könnte.

— **IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:**

Fortschritte bei Assistenztechnologien und in der Telemedizin steigern die Lebensqualität älterer Menschen und unterstützen ein selbstständiges Leben. Diese Technologien helfen bei der Bewältigung der Probleme, die durch die Alterung der Bevölkerung und Veränderungen in der Erwerbsbevölkerung entstehen.

— **IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:**

Die wirtschaftlichen Auswirkungen demographischer Ungleichgewichte sind in vielen Bereichen spürbar. Sie wirken sich auf die Arbeitsmärkte, das Konsumverhalten und die staatliche Haushaltspolitik aus. Die sinkende Zahl erwerbsfähiger Menschen in entwickelten Ländern führt zu einem steigenden Druck auf die Sozialversicherungssysteme. Gleichzeitig wächst in aufstrebenden Regionen die Anzahl junger Menschen, was sowohl wirtschaftliche Wachstums- und Innovationschancen schafft als auch Herausforderungen hinsichtlich Ressourcenmanagement und Infrastrukturentwicklung mit sich bringt, um dem Bevölkerungswachstum gerecht zu werden.

— **IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:**

Demographische Verschiebungen beeinflussen Urbanisierungsmuster, den Ressourcenverbrauch und die ökologische Nachhaltigkeit. Eine rasche Urbanisierung in Regionen mit wachsender Bevölkerung erhöht die Anforderungen an die Infrastruktur, steigert den Energieverbrauch und macht das Abfallmanagement schwieriger. Dies wiederum bremst die Bemühungen zur Eindämmung des Klimawandels.

— **IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:**

Demographische Ungleichgewichte prägen die politische Agenda, die Migrationspolitik und internationale Beziehungen. In vielen Ländern führt die wachsende Zahl älterer Menschen zu Debatten über Themen wie die Reform der Rentensysteme, die Finanzierung des Gesundheitswesens und die Beschäftigung von Einwanderinnen und Einwanderern zum Ausgleich des Fachkräftemangels. Gleichzeitig setzen Länder mit einer sehr jungen Bevölkerung zunehmend auf Bildung, die Schaffung von Arbeitsplätzen und die politische Teilhabe der Jugend.

Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:

— **IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:**

Wie werden sich veränderte kulturelle Normen und Werte auf die Fertilitätsraten und Familienstrukturen in den verschiedenen Regionen auswirken? Welche Auswirkungen haben die steigende Lebenserwartung und der spätere Eintritt in den Ruhestand auf die Beziehungen zwischen den Generationen und die gesellschaftlichen Erwartungen an Arbeit und Ruhestand?

— **IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:**

Welche Rolle werden technologische Fortschritte, wie etwa Automatisierung und künstliche Intelligenz, bei der Bewältigung des Arbeitskräftemangels in alternden Gesellschaften oder bei der Lösung von Problemen im Zusammenhang mit Jugendarbeitslosigkeit spielen? Inwieweit wird die Technologie Einfluss auf die Gesundheitsversorgung und die Betreuung älterer Menschen nehmen, um den Bedürfnissen einer alternden Bevölkerung gerecht zu werden?

— **IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:**

Wie werden demographische Veränderungen Konsumverhalten, Marktnachfrage und wirtschaftliches Wachstum in verschiedenen Sektoren beeinflussen? Welche Strategien werden Regierungen und Unternehmen umsetzen, um dem Arbeitskräftemangel und Qualifikationsdefiziten, die durch demographische Ungleichgewichte entstehen, entgegenzuwirken? Wie werden wirtschaftliche Ungleichheiten zwischen Regionen mit alternden Bevölkerungen und solchen mit schnell wachsender Bevölkerung globale Handels- und Investitionsströme beeinflussen?

— **IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:**

Welche potenziellen ökologischen Folgen könnten sich aus einem raschen Bevölkerungswachstum ergeben, wie etwa die steigende Nachfrage nach natürlichen Ressourcen und der Ausbau der Infrastruktur? Wie werden demographische Ungleichgewichte die Bemühungen zur Eindämmung des Klimawandels und zur Förderung einer nachhaltigen Entwicklung beeinflussen?

— **IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:**

Wie werden demographische Trends die Einwanderungspolitik und internationale Abkommen zur Arbeitskräftemobilität zwischen Staaten prägen? Welche geopolitischen Spannungen könnten durch den Wettbewerb um Ressourcen und durch Migrationsströme infolge demographischer Ungleichgewichte entstehen?

SCHWACHE SIGNALE:

Die Weltbevölkerung ist im Zeitraum von 1926 bis 2020 auf 7,8 Milliarden Menschen angestiegen, was hauptsächlich auf das Wachstum in Asien und Afrika zurückzuführen ist. Trotz sinkender Geburtenraten lag die durchschnittliche Lebenserwartung im Jahr 2020 bei 73 Jahren. Gesellschaften werden zunehmend älter. Die Zahl der Menschen über 65 Jahre wird sich voraussichtlich bis 2050 verdoppeln. Gleichzeitig verzeichnet Afrika einen starken Anstieg junger Bevölkerung. Internationale Migrationsbewegungen wirken dem Bevölkerungsrückgang in Europa entgegen. Es entstehen Ungleichheiten zwischen den Generationen, da alternde Gesellschaften die Steuer- und Gesundheitssysteme belasten. Die Menschen leben länger und gehen später in Rente. Dies kann die Beschäftigungsmöglichkeiten für jüngere Generationen einschränken und zudem familiäre Beziehungen beeinträchtigen. Es gibt Bedenken hinsichtlich der Rechte zukünftiger Generationen. Die Lage auf dem Arbeitsmarkt verändert sich. Während einige Regionen rapide altern, wächst in anderen die junge Bevölkerung. China durchläuft derzeit einen demographischen Wandel, der sich auf die ganze Welt auswirkt. Da ältere Menschen aus dem Erwerbsleben ausscheiden, nehmen die Sorgen um die Stabilität der Altersvorsorgesysteme und die Auswirkungen auf die demographische Dividende zu. Ältere Bevölkerungen nehmen Einfluss auf Wahlen, was zu Debatten über politische Entscheidungen zugunsten älterer Wählergruppen Anlass gibt.

REFERENZEN UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

- Europäische Kommission, «Increasing demographic imbalances» [Zunehmende demographische Ungleichgewichte], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.02.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/increasing-demographic-imbances_en
- Europäische Kommission, «Global population is growing» [Die Weltbevölkerung wächst], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.02.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/global-population-growing_en
- Europäische Kommission, «Age structures more uneven» [Altersstrukturen werden ungleicher], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.02.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/age-structures-more-uneven_en
- Europäische Kommission, «Changing Labour Force» [Wandel der Erwerbsbevölkerung], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.02.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/changing-labour-force_en
- Europäische Kommission, «Increasing Impact of Ageing» [Zunehmende Auswirkungen der Alterung], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.02.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/increasing-impact-ageing_en
- Europäische Kommission, «Demographics and inequality» [Demographie und Ungleichheit], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.02.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/demographics-inequality_en



3.11

ZUNEHMENDER EINFLUSS NEUER REGIERUNGSSYSTEME

VON GANZ OBEN BIS ZUR BASIS:
STÄRKUNG DER MITSPRACHE

BESCHREIBUNG:

Neue Regierungssysteme gewinnen aus verschiedenen Gründen an Einfluss, die hier kurz erläutert werden. Sie setzen auf Grundsätze wie Inklusion, Transparenz und Reaktionsfähigkeit, indem sie digitale Technologien und partizipative Mechanismen nutzen, mit denen Bürgerinnen und Bürger aktiv in die Politik eingebunden werden. Grundsätzlich stellen diese neuen Regierungssysteme eine Abkehr von den traditionellen, hierarchischen Ansätzen der Regierungsführung dar. Vielmehr zielen sie auf Zusammenarbeit, Anpassungsfähigkeit und Effizienz bei der Bewältigung komplexer gesellschaftlicher Herausforderungen ab. Diese Entwicklungen verändern herkömmliche Regierungsstrukturen und führen zu einem vielschichtigen Regierungssystem.

In diesen neuen Regierungssystemen gewinnen nichtstaatliche Akteure, wie etwa Basisorganisationen, zunehmend an Bedeutung. Entscheidungsprozesse werden aufgrund des wachsenden globalen Bewusstseins zunehmend internationalisiert. Zudem haben soziale Medien erheblichen Einfluss auf die Bildung politischer Filterblasen und die Wahrnehmung von Wahrheit. Trotz der Zunahme innovativer Regierungspraktiken befindet sich die Demokratie weltweit auf dem Rückzug. Dies stellt ein Risiko für demokratische Systeme und Institutionen dar, das behandelt und entschärft werden muss.

Für die nahe Zukunft (mehrere Jahre bis zu einem Jahrzehnt) wird erwartet, dass diese neuen Regierungssysteme zunehmen werden. Nichtstaatliche Akteure werden in zunehmendem Maße in Entscheidungsprozesse eingebunden werden. Partizipative Governance-Ansätze werden verstärkt zur Anwendung kommen. Darüber hinaus werden digitale Medienplattformen die Art und Weise, in der sich Menschen über Nachrichten informieren und mit Gleichgesinnten vernetzen, weiter verändern. Die Folge ist, dass persönliche Überzeugungen gegenüber der faktischen Wahrheit an Bedeutung gewinnen. Dies setzt die Medien unter Druck, Fake News und Desinformation entgegenzuwirken und ihre Rolle als verlässliche Informationsquelle beizubehalten.

Langfristig werden Veränderungen in Regierungssystemen vermutlich durch mehrere Faktoren geprägt, darunter technologische Fortschritte, gesellschaftliche Werte und geopolitische Dynamiken. Während automatisierte Entscheidungsprozesse mit technologischen Mitteln weiterentwickelt werden könnten, müssen eventuell ethische Überlegungen im Hinblick auf algorithmische Fairness, Rechenschaftspflicht, Transparenz und ethische Vorurteile angestellt werden. Die Spaltung zwischen demokratischen und autokratischen Staaten wird sich verstärken, was zu geopolitischen und wirtschaftlichen Spannungen führen könnte.

Im Anschluss werden die Auswirkungen des zunehmenden Einflusses neuer Regierungssysteme für die einzelnen Kategorien beleuchtet:

— IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:

Neue Regierungssysteme bedeuten einen Wandel hin zu Inklusion und partizipativer Entscheidungsfindung. Sie ermöglichen es einer Vielzahl von Akteuren, Einfluss auf die Regierungsführung und die Politik zu nehmen. Diese Systeme basieren auf Werten wie Inklusion und Transparenz, wobei Basisorganisationen das Engagement von Bürgerinnen und Bürgern und die Eigenverantwortung der Gemeinschaft stärken. Allerdings stellen durch soziale Medien ausgelöste politische Filterblasen gemeinsame Wahrheiten in Frage und verschärfen die Polarisierung, was negative Folgen für den gesellschaftlichen Zusammenhalt und das Vertrauen in die Institutionen hat.

— IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:

Digitale Plattformen und Technologien unterstützen ganz entscheidend die Bürgerbeteiligung und Transparenz in der Regierungsführung, indem sie Kommunikation und Zusammenarbeit in Echtzeit ermöglichen. Sie erlauben die Nutzung öffentlicher Daten in selbstkorrigierenden Algorithmen, die politische Ergebnisse für die automatische Entscheidungsfindung simulieren. Sie bringen jedoch auch Herausforderungen mit sich, wie beispielsweise die Verbreitung von Desinformation oder die Manipulation der öffentlichen Meinung durch Algorithmen.

— IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:

Ein potenzieller Wegfall des Unternehmenslobbyismus könnte Branchenstrukturen, Investitionsmuster und Innovationsdynamiken verändern. Neue Regierungssysteme verändern zudem wirtschaftliche Interaktionen, indem sie die Rollen der Entscheidungsfindung zwischen staatlichen und nichtstaatlichen Akteuren verlagern. Die wirtschaftliche Stabilität könnte jedoch auch durch ein schwindendes Vertrauen in herkömmliche Institutionen und das Erstarken des Populismus beeinträchtigt werden.

— IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:

Die partizipative Politikgestaltung ermöglicht es, Umweltprobleme mittels nachhaltiger politischer Massnahmen und Praktiken anzupacken. Dabei kommen Basisinitiativen und partizipative Mechanismen zum Einsatz, um gemeinschaftsgetragene Umweltschutzmassnahmen und nachhaltige Entwicklungen zu unterstützen. Allerdings erfordert die Lösung komplexer Umweltprobleme eine Koordinierung auf mehreren Ebenen, die durch politische Polarisierung und kurzfristige Interessen behindert werden kann.

— IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:

Die Förderung von Zukunftskompetenz (Futures Literacy) könnte Entscheidungsträger in die Lage versetzen, Unsicherheiten und komplexe Zusammenhänge zu identifizieren, wodurch vorausschauendes Denken und strategische Vorbereitung gestärkt werden. Partizipative, basisdemokratische Ansätze in der Politikgestaltung ermöglichen die Nutzung

der kollektiven Intelligenz in einer Gesellschaft. Partizipatives Regieren verbessert einerseits die Legitimität und Rechenschaftspflicht, stellt andererseits jedoch auch eine Herausforderung für etablierte Machtstrukturen dar und könnte zu Spannungen zwischen Demokratien und Autokratien führen.

Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:

— IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:

Wie werden unterschiedliche kulturelle Normen und Werte die Akzeptanz und Wirksamkeit neuer Regierungssysteme beeinflussen? Wird die zunehmende gesellschaftliche Polarisierung die Bemühungen von Basisinitiativen um Inklusion und Konsensbildung erschweren? Wie wirkt sich das schwindende Vertrauen in herkömmliche Institutionen auf das Engagement und die Beteiligung der Bürgerinnen und Bürger an Regierungsprozessen aus?

— IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:

Wie können Regierungen die Sicherheit und Integrität der für die partizipative Regierungsführung genutzten digitalen Plattformen gewährleisten, insbesondere vor dem Hintergrund von Cyber-Bedrohungen und Datenschutzbedenken? Wird die digitale Kluft die Ungleichheiten beim Zugang zu Informationen und Möglichkeiten der politischen Partizipation verschärfen und die Inklusionsbestrebungen der neuen Regierungssysteme untergraben?

— IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:

Wie wird sich der Übergang zu neuen Regierungssystemen auf das Wirtschaftswachstum und die Stabilität auswirken, insbesondere in Branchen, die auf herkömmliche Machtstrukturen angewiesen sind? Welche langfristigen finanziellen Auswirkungen haben die Investitionen in digitale Infrastruktur und der Kapazitätsaufbau für eine partizipative Regierungsführung? Können neue Regierungssysteme wirtschaftliche Ungleichheiten wirksam bekämpfen und eine gerechte Verteilung von Ressourcen und Chancen gewährleisten?

— IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:

Welche Rolle werden neue Regierungssysteme bei der Bewältigung drängender Umweltprobleme wie etwa dem Klimawandel und dem Verlust der Biodiversität spielen? Werden konkurrierende wirtschaftliche Interessen und kurzfristige Prioritäten die Bemühungen um eine verstärkte Berücksichtigung ökologischer Nachhaltigkeit innerhalb neuer Regierungssysteme untergraben?

— IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:

Wie werden sich die regulatorischen Rahmenbedingungen anpassen, um die zunehmend komplexen Interaktionen zwischen staatlichen und nichtstaatlichen Akteuren in neuen Regierungssystemen zu regeln? Welche geopolitischen Auswirkungen haben das Aufkommen der partizipativen Regierungsführung und die potenzielle Aushöhlung staatlicher Souveränität?

SCHWACHE SIGNALE:

Schwache Signale deuten auf den subtilen, aber sich abzeichnenden Trend zur kollektiven Intelligenz hin. Hierzu zählen Basisinitiativen, die kollektives Wissen für Gesellschaftsentwicklungsprojekte nutzen, etwa in den Bereichen Stadtplanung und Umweltschutz. Zudem setzen Regierungen und Organisationen zunehmend auf digitale Plattformen und Online-Foren, um die Bevölkerung in politische Entscheidungsprozesse und öffentliche Projekte einzubeziehen – ein Zeichen für das wachsende Bestreben hin zu partizipativer Regierungsführung. Die Verbreitung von Online-Tools und Plattformen für die Zusammenarbeit fördert den Wissensaustausch und die gemeinsame Problemlösung verschiedener Gruppen und stärkt so das Potenzial kollektiver Intelligenz. Darüber hinaus integrieren staatliche und öffentliche Stellen Bürgerfeedback und Crowdsourcing-Daten in ihre Entscheidungsprozesse, was auf eine Entwicklung hin zu inklusiveren und transparenteren Regierungspraktiken hinweist. Schliesslich werden partizipative Demokratieinitiativen wie Bürgerversammlungen und Deliberationsforen (Deliberative Polling) zunehmend als legitime Kanäle für das Engagement der Bürgerinnen und Bürger bei der Gestaltung der zukünftigen Gesellschaft anerkannt und unterstützt. Diese schwachen Signale deuten gemeinsam auf eine schrittweise, aber spürbare Übernahme der Prinzipien kollektiver Intelligenz in verschiedenen Bereichen des öffentlichen Lebens hin.

REFERENZEN UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

- Europäische Kommission, «Increasing influence of new governing systems» [Zunehmender Einfluss neuer Regierungssysteme], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.02.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/increasing-influence-new-governing-systems_en
- Europäische Kommission, «New governance models» [Neue Modelle der Regierungsführung], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.02.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/new-governance-models_en
- Europäische Kommission, «Digital transformation of public administration and services» [Digitale Transformation der öffentlichen Verwaltung und Dienstleistungen], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.01.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/digital-transformation-public-administration-services_en
- Europäische Kommission, «Decoupling trust from truth» [Entkopplung von Vertrauen und Wahrheit], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.01.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/decoupling-trust-truth_en
- Europäische Kommission, «Automated decision-making impacting society» [Auswirkungen der automatisierten Entscheidungsfindung auf die Gesellschaft], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.01.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/automated-decision-making-impacting-society_en
- Europäische Kommission, «Collective intelligence» [Kollektive Intelligenz], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.01.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/collective-intelligence_en
- Europäische Kommission, «Media under pressure» [Medien unter Druck], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.01.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/media-under-pressure_en



3.12

ZUNEHMENDE BEDEUTUNG DER MIGRATION

EINE WELT IN BEWEGUNG:
VON DER VERTREIBUNG
ZUR INTEGRATION

BESCHREIBUNG:

Die zunehmende Bedeutung der Migration ist ein prägender Aspekt unserer modernen Welt. Täglich machen sich unzählige Menschen auf den Weg, um Grenzen zu überqueren, angetrieben von der Hoffnung auf ein besseres Leben, Sicherheit und wirtschaftlichen Wohlstand. Dieser Megatrend beschreibt verschiedene Arten der Migration und umfasst sowohl Menschen, die freiwillig aus wirtschaftlichen Gründen migrieren, als auch jene, die aufgrund von Kriegen, Verfolgung oder Naturkatastrophen gezwungen sind, ihre Heimat zu verlassen. Migration ist ein globales Phänomen, das über geographische Grenzen hinausgeht und weltweit Auswirkungen auf Gesellschaften, Wirtschaftssysteme und Regierungsstrukturen hat. Die Migrationsbewegungen werden von zahlreichen Faktoren beeinflusst, darunter wirtschaftliche Bedingungen, politische Instabilität und Umweltveränderungen. Diese Faktoren werden im 21. Jahrhundert zu einem komplexen Bewegungsmuster der Menschen führen. Migration bestimmt nicht nur, wie Bevölkerungen wachsen, sondern auch, wie sich Kulturen ändern. Ein Verständnis ihrer Ursachen, Auswirkungen und Folgen ist daher von entscheidender Bedeutung.

In naher Zukunft (mehrere Jahre bis zu einem Jahrzehnt)

wird die Bedeutung der Migration weiter zunehmen. Die Migrationsmuster und -motive werden vielfältiger sein. Wirtschaftliche Ungleichheiten, politische Instabilität und der Klimawandel werden weiterhin die Hauptursachen für Migration sein. Die Art und Weise, wie die Welt auf aktuelle Krisen wie die Konflikte in der Ukraine und Syrien reagiert, wird die Migrationsbewegungen beeinflussen. Damit wird der Schwerpunkt weiterhin auf der Grenzsicherheit und der Kontrolle dieser Grenzen liegen.

Langfristig

könnten sich Migrationsdynamiken als Reaktion auf neue Herausforderungen und Chancen weiterentwickeln. Technologische Fortschritte könnten sowohl Migrationsprozesse als auch Grenzkontrollmassnahmen erleichtern. Geopolitische Verschiebungen und Umweltveränderungen könnten den Migrationsdruck jedoch verstärken, was die Steuerung der Migration sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene weiter verkomplizieren könnte.

Im Anschluss werden die Auswirkungen der zunehmenden Bedeutung der Migration für die einzelnen Kategorien beleuchtet:

— **IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:**

Migration verändert kulturelle Landschaften, indem sie Vielfalt und Multikulturalismus fördert. Gleichzeitig stellt sie jedoch Herausforderungen für die soziale Integration dar und kann zu Identitätskonflikten führen.

— **IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:**

Technologie erleichtert die Mobilität und verbessert Kommunikation, Reisen und Grenzsicherheit, wirft jedoch auch Bedenken hinsichtlich Datenschutz und Überwachung auf. Technologien wie Blockchain und biometrische Identifikationssysteme verbessern die Identitätsüberprüfung und verringern Betrugsrisiken, stellen andererseits aber ethische und regulatorische Herausforderungen dar, insbesondere im Zusammenhang mit Datenschutz und Menschenrechten.

— **IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:**

Migration stärkt den Arbeitsmarkt, indem sie die Arbeitskräfte diversifiziert und die Mobilität von Fachkräften erleichtert. Gleichzeitig kann sie jedoch Lohnunterschiede vergrößern und den Wettbewerb um Arbeitsplätze verschärfen. Herausforderungen sind unter anderem Brain Drain (Abwanderung hochqualifizierter Arbeitskräfte) und Lohndruck. Wirtschaftliche Ungleichgewichte ermutigen Menschen, bessere Chancen im Ausland zu suchen, was zu Geldüberweisungen führt, welche die Gemeinschaften in der Heimat unterstützen.

— **IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:**

Der Klimawandel zwingt Menschen aufgrund des Anstiegs des Meeresspiegels, extremer Wetterbedingungen und der Umweltzerstörung zur Flucht und beeinflusst so die Migrationsdynamiken. Dies stellt Aufnahmegemeinschaften vor Herausforderungen, die Resilienz- und Anpassungsstrategien für Klimaflüchtlinge benötigen. Da umweltbedingte Migration eng mit sozioökonomischen Problemen verknüpft ist, verschärft sie bestehende Ungleichheiten, insbesondere in ressourcenarmen Regionen. Um dem entgegenzuwirken, müssen die Grundursachen bekämpft und humanitäre Hilfe für die betroffenen Bevölkerungsgruppen bereitgestellt werden. Rechtssysteme sollten sich weiterentwickeln, um Klimamigration in die Asyl- und Flüchtlingspolitik einzubeziehen. Dies unterstreicht die Notwendigkeit einer internationalen Zusammenarbeit, um nachhaltige Lösungen für gefährdete Gemeinschaften zu finden.

— **IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:**

Die Migration entfacht die politische Debatte, beeinflusst die Politik, die Wahlen und die internationalen Beziehungen, schürt aber auch Fremdenfeindlichkeit und Populismus. Herausforderungen für die Regierungsführung ergeben sich aus divergierenden Interessen und geopolitischen Spannungen, welche die Steuerung von Migration und die Menschenrechtsbemühungen erschweren. Staaten setzen oft strenge Sicherheitsmassnahmen ein, die humanitäre Probleme verschärfen und die Schwierigkeit verdeutlichen, Sicherheitserwägungen mit humanitären Verpflichtungen in Einklang zu bringen. Die politische Instrumentalisierung von Migration, etwa die Auslagerung von Asylverfahren oder die Nutzung von Migration

als diplomatisches Druckmittel, veranschaulicht die komplexe Rolle der Migration in der Geopolitik und unterstreicht die Bedeutung einer ethischen Kontrolle der Migration.

Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:

— **IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:**

Wie werden Aufnahmegesellschaften auf eine zunehmende kulturelle Diversität infolge von Migration reagieren, und welche Auswirkungen wird dies auf den gesellschaftlichen Zusammenhalt und die Identitätsbildung haben? Welche langfristigen Effekte wird die kulturelle Integration auf soziale Normen, Werte und Traditionen innerhalb der aufnehmenden Gesellschaften haben, und wie wird sie die Einstellung gegenüber Migration beeinflussen?

— **IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:**

Wie werden neue Technologien, wie beispielsweise künstliche Intelligenz, Blockchain und biometrische Systeme, die Migrationsprozesse beeinflussen, und welche ethischen Implikationen und Risiken sind mit ihrer Nutzung verbunden? Wie können technologische Fortschritte sinnvoll eingesetzt werden, um die Integration von Migrantinnen und Migranten zu erleichtern, ihren Zugang zu Dienstleistungen zu verbessern und ihre Rechte zu schützen, und wie lassen sich gleichzeitig die digitale Kluft und Datenschutzbedenken minimieren? Welche Herausforderungen und Chancen ergeben sich aus der Nutzung sozialer Medien und digitaler Plattformen bei der Schaffung von Migrationsnarrativen, der Förderung von Unterstützungsnetzwerken in der Gemeinschaft und der Bekämpfung von Fehlinformationen und Ausbeutung?

— **IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:**

Wie werden Automatisierung und KI-bedingte Umbrüche auf den Arbeitsmärkten die Migrationsmuster und Beschäftigungsmöglichkeiten sowohl für Migrantinnen und Migranten als auch für die einheimische Bevölkerung beeinflussen? Welche wirtschaftlichen Folgen wird die Abwanderung von Fachkräften in den Ländern haben, aus denen die Menschen auswandern, und wie wirkt sie sich auf die weitere Entwicklungsdynamik aus?

— **IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:**

Wie sehen die voraussichtlichen Migrationsmuster und Vertreibungstrends aus, die sich aus den anhaltenden Umweltveränderungen wie Klimawandel, Ressourcenverknappung und Naturkatastrophen ergeben? Wie werden Aufnahmegesellschaften und Regierungen mit den ökologischen Auswirkungen der Migration umgehen, einschliesslich der Belastung von Infrastruktur, Ressourcen und Ökosystemen?

— **IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:**

Welche Herausforderungen ergeben sich aus der Fragmentierung der Migrationssteuerung und den divergierenden nationalen Interessen, und inwiefern können multilaterale Ansätze und Diplomatie dazu beitragen, diese Komplexität zu bewältigen, um gerechte und humane Antworten auf die Herausforderungen der Migration zu gewährleisten? Wie werden sich Grenzsicherungsmaßnahmen und die Migrationssteuerung im Zuge veränderter Migrationsmuster, neuer Sicherheitsbedrohungen und humanitärer Krisen weiterentwickeln?

SCHWACHE SIGNALE:

Verschiedene schwache Signale deuten darauf hin, dass sich die Landschaft der Migrationstrends weltweit weiterentwickelt. Die Militarisierung der Grenzen wird zunehmend durch den Einsatz von Militärtechnik und -personal zur Kontrolle der Grenzen umgesetzt. Dieser Lösungsansatz spiegelt den wachsenden Migrationsdruck sowie verstärkte Sicherheitsbedenken wider. Darüber hinaus nutzen einige Staaten Migration gezielt für politische Zwecke, indem sie Abkommen mit anderen Ländern schließen, um Asylverfahren ausserhalb ihrer eigenen Grenzen abzuwickeln. Dies unterstreicht die mit der effizienten Steuerung von Migrationsströmen verbundenen Herausforderungen. Prognosen zur klimabedingten Migration konzentrieren sich auf Extremwetterereignisse und Ressourcenknappheit, was deutlich macht, wie dringend politische Massnahmen zur Anpassung an diese Veränderungen getroffen werden müssen.

Zudem werden neue Datenquellen, darunter Umfragen und soziale Medien, für die Analyse genutzt. Dies deutet darauf hin, dass Bemühungen unternommen werden, um die Überwachung und Reaktion auf sich verändernde Migrationsmuster zu verbessern. Zusätzliche treibende Faktoren für globale Migrationsbewegungen und Beschäftigungsmuster sind die anhaltende Abhängigkeit von transnationalen Netzwerken und wirtschaftliche Ungleichheiten.

REFERENZEN UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

- Europäische Kommission, «Increasing significance of migration» [Wachsende Bedeutung der Migration], Europäische Kommission, Website, zuletzt abgerufen am 21.02.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/increasing-significance-migration_en
- Europäische Kommission, «Diverse drivers of migration» [Verschiedene Migrationsursachen], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.02.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/diverse-drivers-migration_en
- Europäische Kommission, «Militarisation of borders and instrumentalisation of migration» [Militarisierung der Grenzen und Instrumentalisierung der Migration], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.02.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/militarisation-borders-instrumentalisation-migration_en
- Europäische Kommission, «Continuing complexity of migration governance» [Anhaltende Komplexität der Migrationssteuerung], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.02.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/continuing-complexity-migration-governance_en



3.13

GESUNDHEIT IM WANDEL

VON VIRAL ZU VITAL: ANPASSUNG
AN DIE NEUEN NORMEN
FÜR GESUNDHEITLICHE HERAUSFORDERUNGEN

BESCHREIBUNG:

Die Wissenschaft hat die Häufigkeit von Infektionskrankheiten erheblich reduziert. Die heutigen Gesundheitsprobleme sind jedoch häufig auf nicht übertragbare Krankheiten (Non-Communicable Diseases - NCDs) zurückzuführen. Dazu zählen Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Schlaganfälle, Krebs, Diabetes und chronische Lungenerkrankungen. Diese Krankheiten sind häufig auf ungesunde Lebensweisen und Umweltverschmutzung zurückzuführen.

Fortschritte im Gesundheitswesen haben zu einer steigenden Lebenserwartung geführt. Probleme wie Fettleibigkeit, Mangelernährung, Antibiotikaresistenzen, psychische Erkrankungen und Krankheiten, die von Tieren auf Menschen übertragen werden, bestehen jedoch weiterhin. Die COVID-19-Pandemie hat die Anfälligkeit globaler Gesundheitssysteme deutlich gemacht und die Notwendigkeit von Massnahmen zur Bewältigung neuer Gesundheitsbedrohungen deutlich gemacht. Darüber hinaus unterstreicht die Erkenntnis, wie vielschichtig Gesundheit ist, das Zusammenspiel von Genetik, Lebensstil und Umweltfaktoren.

In naher Zukunft (mehrere Jahre bis zu einem Jahrzehnt) wird die Zahl nicht übertragbarer Krankheiten weltweit voraussichtlich weiter ansteigen. Besonders in entwickelten Ländern wird dieser Anstieg spürbar sein und die Gesundheitssysteme vor erhebliche Herausforderungen stellen. Gleichzeitig verbessern sich elektronische Gesundheitstechnologien und die datengesteuerte Gesundheitsversorgung und tragen dazu bei, Erkrankungen effektiver zu verhindern, zu diagnostizieren und zu behandeln.

Langfristig wird es kontinuierliche Bemühungen geben, Technologie und Daten zur Verbesserung der Gesundheitsversorgung zu nutzen. Dies könnte zu einem Wandel in der medizinischen Versorgung führen. Individuell zugeschnittene Therapien in Form von personalisierter oder Präzisionsmedizin bieten bessere Heilungschancen als standardisierte Einheitstherapien. CRISPR-Cas9-Gen-Editing könnte herkömmliche Ansätze zur Behandlung unheilbarer Krankheiten überflüssig machen oder Krankheiten durch die genetische Verbesserung des Menschen gänzlich verhindern. Nanomedizin wiederum könnte als Biosensor zur Krankheitsprävention oder als Medikation eingesetzt werden. Sie ermöglicht es, therapeutische Wirkungen selbstständig im betroffenen Bereich zu entfalten, ohne den gesamten Körper zu belasten.

Im Anschluss werden die Auswirkungen der veränderten gesundheitlichen Herausforderungen für die einzelnen Kategorien beleuchtet:

— **IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:**

Soziale Probleme, wie etwa nicht übertragbare Krankheiten und psychische Gesundheit, unterstreichen die Notwendigkeit einer ganzheitlichen Gesundheitsversorgung. Die personalisierte Medizin wirft Fragen des Datenschutzes, Dateneigentums sowie des gerechten Zugangs zur Gesundheitsfürsorge auf. Zudem wandeln sich gesellschaftliche Normen in Bezug auf Gesundheitsverhalten und Krankheitsprävention durch sich verändernde Lebensstile und eine zunehmende Urbanisierung.

— **IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:**

Fortschritte in Technologien wie etwa der CRISPR-Cas9-Geneditierung, mRNA-Impfstoffe und Nanomedizin stützen die personalisierte Medizin, indem sie präzisere Diagnosen und gezieltere Behandlungen gestatten. Die zunehmende Verbreitung von Telemedizin und tragbaren Gesundheitsgeräten bedeutet eine Entwicklung hin zur digitalen Gesundheitsfürsorge, bietet personalisierte Lösungen und ermöglicht ein individuelles Gesundheitsmanagement.

— **IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:**

Die Kosten, die durch Arbeitsausfälle infolge von Burnout und psychischen Erkrankungen entstehen, nehmen zu. Personalisierte Medizin könnte Gesundheitskosten senken, indem sie eine gezieltere Behandlung ermöglicht und unnötige medizinische Eingriffe vermeidet. Gleichzeitig stehen Gesundheitssysteme jedoch unter dem Druck, steigende Kosten und den Bedarf an personalisierten Behandlungen bewältigen zu müssen.

— **IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:**

Die durch Umweltverschmutzung und Klimawandel verursachte Umweltzerstörung hat erhebliche Auswirkungen auf die Gesundheit und führt zur Zunahme nicht übertragbarer Krankheiten wie Atemwegserkrankungen und Krebs. Nachhaltige politische Massnahmen und Sensibilisierungskampagnen sind von entscheidender Bedeutung für die Verringerung dieser Gesundheitsrisiken durch die Bewältigung von Umweltproblemen.

— **IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:**

Die Kluft in der Gesundheitsversorgung zwischen sich entwickelnden Volkswirtschaften und entwickelten Ländern wird immer grösser. Regulierungssysteme müssen angepasst werden, um mit den Fortschritten in der Genom-Editierung, der personalisierten Medizin und der Nanotechnologie Schritt zu halten, wobei die Sicherheit und Ethik der Patientinnen und Patienten Vorrang haben müssen. Die COVID-19-Pandemie hat die Schwächen des globalen Gesundheitssystems offengelegt und die Notwendigkeit einer internationalen Zusammenarbeit bei der Bekämpfung von Gesundheitsbedrohungen deutlich gemacht.

Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:

— **IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:**

Wie werden sich gesellschaftliche Einstellungen hinsichtlich Gesundheitsverhalten und Wahl des Lebensstils im Zuge neuer gesundheitlicher Herausforderungen verändern? Welche Rolle werden kulturelle Normen und Überzeugungen bei Fragen des Zugangs zu neuen Gesundheitstechnologien und Behandlungsmethoden spielen? Inwiefern werden Ungleichheiten beim Zugang zur Gesundheitsversorgung die Bemühungen zur Bekämpfung nicht übertragbarer Krankheiten und psychischer Erkrankungen beeinflussen? Wie wird die Gesellschaft mit der zunehmenden Transparenz sensibler Gesundheitsdaten, wie etwa Vorerkrankungen, und einer möglichen Diskriminierung kranker Menschen umgehen?

— **IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:**

Welche ethischen Implikationen ergeben sich aus der weitverbreiteten Nutzung von Präzisionsmedizin und Geneditierungstechnologien? Wie wird sich der technologische Fortschritt auf den Datenschutz und die Sicherheit im Gesundheitswesen auswirken?

— **IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:**

Wie können Gesundheitssysteme die finanzielle Belastung durch die Zunahme nicht übertragbarer Krankheiten bewältigen und gleichzeitig die Qualität der Versorgung aufrechterhalten? Welche wirtschaftlichen Auswirkungen wird der Übergang zu personalisierter Medizin und innovativen Gesundheitstechnologien haben? Inwiefern werden Einkommensunterschiede und Ungleichheiten im Zugang zur Gesundheitsversorgung die Anwendung neuer Behandlungen und Therapien beeinflussen? Wie können die langen Entwicklungszeiten (bis zu mehreren Jahrzehnten) für neue Therapien finanziert werden? Bietet das bestehende Patentsystem ausreichende Anreize für Investitionen in Forschung und Entwicklung, insbesondere für die Behandlung von weniger verbreiteten Krankheiten?

— **IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:**

Wie lassen sich die Bemühungen zur Bekämpfung von umweltbedingten Gesundheitsfaktoren wie Umweltverschmutzung und Klimawandel mit den Strategien zur Vorbeugung und Behandlung nicht übertragbarer Krankheiten in Einklang bringen? Welche Herausforderungen ergeben sich aus dem Spannungsfeld zwischen wirtschaftlicher Entwicklung und ökologischer Nachhaltigkeit, um langfristig positive Gesundheitsergebnisse zu fördern?

— **IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:**

Welche regulatorischen Rahmenbedingungen sind erforderlich, um die sichere und ethische Nutzung neuer Technologien wie CRISPR-Cas9-Gen-Editing und Nanomedizin zu gewährleisten? Wie werden geopolitische Spannungen und die internationale Zusammenarbeit die gemeinsame Nutzung von Gesundheitsdaten und Ressourcen zur Bekämpfung globaler Gesundheitsbedrohungen beeinflussen? Wie kann die Erforschung und Entwicklung von Therapien für Krankheiten unterstützt werden, die aus wirtschaftlicher Sicht keine ausreichende Rendite versprechen?

SCHWACHE SIGNALE:

Der Aufstieg der Präzisionsmedizin zeigt sich in verschiedenen Bereichen des Gesundheitswesens, z. B. bei Gentests in der Krebsbehandlung. Regierungen, Gesundheitseinrichtungen und Pharmaunternehmen investieren nun verstärkt in diesen Bereich, was auf eine allgemeine Entwicklung hin zu personalisierter Medizin hindeutet.

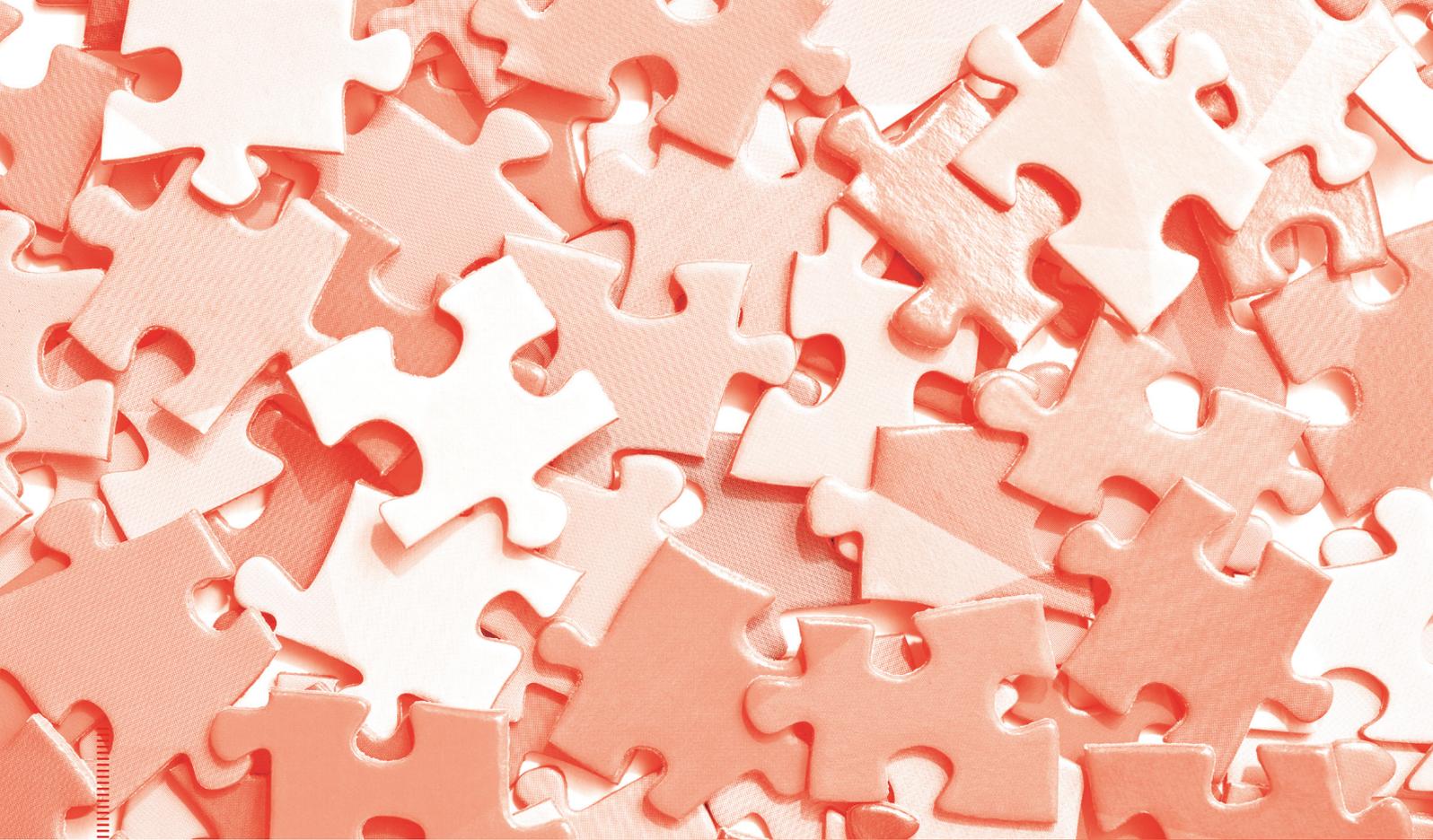
Genetische Testkits und Gesundheits-Apps werden immer häufiger genutzt. Sie ermöglichen es den Menschen, ihre eigene Gesundheit besser zu überwachen, und bieten individuelle Gesundheitsempfehlungen. Auch die verstärkte Nutzung von Telemedizin und tragbaren Gesundheitsgeräten weist auf eine wachsende Abhängigkeit von digitalen Ressourcen in der Gesundheitsversorgung hin.

Es entstehen Start-ups und Forschungsprojekte, die sich auf die Entwicklung neuer, personalisierter Gesundheitslösungen konzentrieren. Dazu gehören massgeschneiderte medizinische Geräte, gezielte Therapien und Gentherapien, die alle auf potenzielle Durchbrüche bei der Prävention und Behandlung von Krankheiten hindeuten. Erste Anwendungen der Gentherapie werden bereits zur Heilung bisher unheilbarer Bluterkrankungen eingesetzt.

Öffentliche Aufklärungskampagnen konzentrieren sich zunehmend auf die Entstigmatisierung psychischer Erkrankungen und auf den Umweltschutz. Dies macht deutlich, dass das Bewusstsein für die Wechselwirkungen zwischen menschlicher Gesundheit und umfassenderen gesellschaftlichen und ökologischen Faktoren wächst.

REFERENZEN UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

- Europäische Kommission, «Shifting health challenges» [Gesundheit im Wandel], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.02.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/shifting-health-challenges_en
- Europäische Kommission, «Trend: Keep calm and carry on, but also 'be prepared'» [Trend: Ruhe bewahren und weitermachen, aber vorbereitet sein], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.01.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/keep-calm-carry-also-%E2%80%98be-prepared%E2%80%99_en
- Europäische Kommission, «It's a miracle» [Es ist ein Wunder], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.02.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/its-miracle_en
- Europäische Kommission, «Mind yourself» [Pass auf dich auf], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.02.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/mind-yourself_en
- Europäische Kommission, «A healthy environment» [Eine gesunde Umwelt], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.02.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/healthy-environment_en
- Europäische Kommission, «Digitize me and my health» [Digitalisiere mich und meine Gesundheit], Europäische Kommission, Website, letzter Zugriff am 21.02.2024, https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight/digitize-me-my-health_en



3.14

DIVERSITÄTSBEWUSSTE GESELLSCHAFT

EINE NEUE ÄRA DES SOZIALEN
BEWUSSTSEINS

BESCHREIBUNG:

In vielen westlichen Gesellschaften gibt es ein wachsendes Bewusstsein für soziale Ungerechtigkeiten. Konsumentinnen und Konsumenten werden aktiv und fordern Transparenz und Veränderungen. In der postdemographischen Welt entstehen für Politik und Unternehmen neue Massstäbe und Herausforderungen. Die Vorstellung einer einheitlichen Definition für alle Konsumentinnen und Konsumenten verliert zunehmend an Bedeutung. Dieser Wandel entsteht durch die zunehmende Anerkennung und Thematisierung der menschlichen Vielfalt und Individualität. Gleichzeitig nimmt das Bewusstsein für Diskriminierung und fehlende Chancengleichheit zu. Zuvor marginalisierte Gruppen treten öffentlich und sichtbar für Gleichberechtigung ein. Produkte, Dienstleistungen und Infrastrukturen sollen von Beginn an inklusiv gestaltet werden und allen Menschen zugänglich sein. Frauen setzen sich verstärkt für ihre Autonomie ein und kämpfen gegen das geschlechtsspezifische Lohngefälle und sexuelle Gewalt. Soziale Medien dienen als Plattform für Aktivismus, verdeutlichen jedoch auch die zunehmende gesellschaftliche Polarisierung. Konsumentinnen und Konsumenten üben verstärkten Druck auf Unternehmen aus und fordern politische Positionierungen und Transparenz. Auch die Politik befindet sich in einem tiefgreifenden Wandel und sieht sich mit vielfältigen Herausforderungen konfrontiert. Neue demokratische Ansätze werden erprobt, während gleichzeitig die wachsende Macht globaler Technologiegiganten und die Verbreitung von

Desinformation eine Bedrohung für Demokratien weltweit darstellen.

In naher Zukunft (mehrere Jahre bis zu einem Jahrzehnt) wird erwartet, dass sich der Trend zu einer diversitätsbewussten Kultur und wachsendem Individualismus fortsetzt und dass er weiterhin gesellschaftliche Normen und Verhaltensweisen prägen wird. Konsumentinnen und Konsumenten werden verstärkt Transparenz und Rechenschaftspflicht von Unternehmen und Regierungen einfordern. Dies wird zu Veränderungen bei Unternehmenspraktiken sowie bei politischen Strategien führen. Unternehmen werden inklusive Prinzipien zunehmend als Standard etablieren und diese systematisch in ihre Produkte und Dienstleistungen integrieren, um den vielfältigen Bedürfnissen ihrer Kundschaft gerecht zu werden. Soziale Medien werden weiterhin eine bedeutende Rolle als Plattformen für Aktivismus und Meinungsäußerung spielen, die den öffentlichen Diskurs beeinflussen und Institutionen zur Rechenschaft ziehen.

Langfristig wird die Entwicklung hin zu einer diversitätsbewussten Gesellschaft und des zunehmenden Individualismus vermutlich davon abhängen, wie effektiv gesellschaftliche Institutionen sich an diese Veränderungen anpassen. Technologische Fortschritte, insbesondere in den Bereichen künstliche Intelligenz und Blockchain-Technologie, könnten Transparenz und Inklusion weiter fördern. Jedoch könnten anhaltende gesellschaftliche Spaltungen sowie die sich wandelnde Natur des Aktivismus auch Herausforderungen für nachhaltige Fortschritte in diesen Bereichen darstellen.

Im Anschluss werden die Auswirkungen einer diversitätsbewussten Gesellschaft für die einzelnen Kategorien beleuchtet:

— IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:

Eine diversitätsbewusste Gesellschaft hat einen tiefgreifenden Einfluss auf gesellschaftliche Normen und Werte. Sie führt zu einem stärkeren Bewusstsein für soziale Ungerechtigkeiten und Diskriminierung. Dieses gesteigerte Bewusstsein fördert eine inklusivere Umgebung, in der zuvor marginalisierte Gruppen für Chancengleichheit eintreten. Basisbewegungen und Aktivismus in sozialen Medien dienen als Katalysatoren für den Wandel. Sie fungieren als Sprachrohr und fordern von Unternehmen und Regierungen mehr Verantwortlichkeit.

— IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:

Soziale Medien spielen eine zentrale Rolle bei der Unterstützung von Aktivismus und Mobilisierung. Sie dienen als Werkzeuge zur Interessenvertretung und zur Verbreitung von Bewusstsein für soziale Themen.

— IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:

Eine diversitätsbewusste Kultur beeinflusst das Konsumverhalten erheblich. Die Menschen sind eher bereit, Unternehmen zu unterstützen, die ihren Werten entsprechen, unter anderem hinsichtlich Transparenz und sozialer Verantwortung. Der Druck seitens der Konsumentinnen und Konsumenten motiviert Unternehmen dazu, inklusive Praktiken und transparente Richtlinien einzuführen. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung, um glaubwürdig zu bleiben und den sich wandelnden gesellschaftlichen Erwartungen gerecht zu werden. Darüber hinaus riskieren Unternehmen, die es versäumen, gegen soziale Ungerechtigkeiten vorzugehen, Boykotte und Reputationsschäden, die sich auf ihr Geschäftsergebnis auswirken können.

— IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:

Eine diversitätsbewusste Gesellschaft steht nicht in direktem Zusammenhang mit Umweltfragen. Dennoch gibt es Überschneidungen mit Umweltaktivismus im Rahmen der breiteren Bewegung für soziale Gerechtigkeit und Gleichberechtigung. Umweltaktivistinnen und -aktivisten heben die ungleichen Auswirkungen des Klimawandels auf marginalisierte Gemeinschaften hervor und weisen auf die enge Verknüpfung zwischen sozialen und ökologischen Herausforderungen hin.

— IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:

Eine diversitätsbewusste Gesellschaft beeinflusst den politischen Diskurs und die politische Entscheidungsfindung, wobei der Schwerpunkt zunehmend auf der Verabschiedung von Gesetzen und politischen Massnahmen zur Förderung von Diversität, Inklusion und Gleichstellung liegt. Diversität und ihre Anerkennung sind in verschiedenen Nationen und Regierungssystemen jedoch recht unterschiedlich.

Zentrale Unsicherheiten und Herausforderungen:

— IN SOZIOKULTURELLER HINSICHT:

Wie wird sich die gesellschaftliche Einstellung zu einer diversitätsbewussten Kultur im Laufe der Zeit entwickeln? Wird es zu einer Ablehnung einer vermeintlichen «Cancel-Culture» oder zu einer grösseren Akzeptanz von Bewegungen für soziale Gerechtigkeit kommen? Welche Auswirkungen werden generationale Unterschiede auf die Entwicklung einer diversitätsbewussten Gesellschaft haben? Werden jüngere Generationen weiterhin den Wandel vorantreiben, oder wird es Widerstand aus älteren Bevölkerungsgruppen geben? Wie wird sich die kulturelle Globalisierung mit diversitätsbewussten Kulturbewegungen überschneiden?

— IN TECHNOLOGISCHER HINSICHT:

Wie werden technologische Fortschritte die Zukunft des sozialen Aktivismus und der Interessenvertretung beeinflussen? Werden neue Technologien eine stärkere Inklusion und Partizipation ermöglichen, oder werden sie die bestehende digitale Kluft noch verschärfen? Werden Algorithmen zu mehr Echokammern beitragen oder können sie einen sinnvollen Dialog über unterschiedliche Perspektiven hinweg fördern?

— IN WIRTSCHAFTLICHER HINSICHT:

Was sind die langfristigen wirtschaftlichen Auswirkungen von Unternehmen, die verschiedene oder «woke» Marken- und Marketingstrategien anwenden? Werden diese Bemühungen zu einem echten Wandel führen oder als oberflächliche Versuche wahrgenommen werden, aus den sozialen Bewegungen Kapital zu schlagen?

— IN ÖKOLOGISCHER HINSICHT:

Wie wird eine diversitätsbewusste Gesellschaft mit Umweltaktivismus interagieren, und welche Auswirkungen wird dies auf die Priorisierung ökologischer Themen haben? Wird es Synergien zwischen Bewegungen für soziale Gerechtigkeit und Umweltbewegungen geben oder werden konkurrierende Interessen entstehen?

— IN (GEO-)POLITISCHER UND REGULATORISCHER HINSICHT:

Welche Rolle werden internationale Institutionen bei der Förderung einer diversitätsbewussten Gesellschaft und der Verteidigung der Menschenrechte auf globaler Ebene spielen? Wie werden regulatorische Rahmenbedingungen angepasst, um den Herausforderungen einer diversitätsbewussten Gesellschaft gerecht zu werden? Diese Herausforderungen werden sich in Bereichen wie Meinungsfreiheit, Datenschutz und bürgerliche Freiheiten stellen. Wird ein Gleichgewicht zwischen dem Schutz individueller Rechte und der Beseitigung systemischer Ungerechtigkeiten gefunden?

SCHWACHE SIGNALE:

Die Nachfrage nach ethisch produzierten und transparent bezogenen Produkten ist spürbar gestiegen. Menschen entwickeln ein zunehmendes Bewusstsein für soziale Ungerechtigkeiten und erwarten von Unternehmen mehr Verantwortlichkeit. Dies betrifft nicht nur Produktionsweisen, sondern auch das Management von Lieferketten und den Einfluss von Unternehmen auf die Gesellschaft. Folglich wird von Unternehmen zunehmend erwartet, dass sie soziale Verantwortung zeigen. Dies wird insbesondere durch den Aktivismus in den sozialen Medien und die Stärkung von marginalisierten Gruppen noch verstärkt. Unternehmen, die auf diese Anliegen nicht eingehen, riskieren erhebliche öffentliche Kritik und Reputationsverluste.

Gleichzeitig erfährt die Bedeutung von Diversität und Inklusion immer mehr Anerkennung, insbesondere in den Gestaltungsprinzipien verschiedener Branchen. Dies umfasst die Gestaltung von Produkten, Dienstleistungen und digitalen Schnittstellen, die eine breite Vielfalt an Fähigkeiten, Kulturen, Geschlechtern und Altersgruppen berücksichtigen. Darüber hinaus hat der intersektionale Feminismus im Markenaktivismus Einzug gehalten, wobei sich Unternehmen Bewegungen gegen Diskriminierung anschließen. Dabei geht es nicht nur um das Geschlecht, sondern auch um Ethnie, Sexualität, Behinderung und andere sich überschneidende Identitäten. Dieser Trend kennzeichnet einen Wandel hin zu differenzierteren und inklusiveren Ansätzen in der unternehmerischen sozialen Verantwortung.

Technologische Fortschritte ebnen den Weg für innovative Lösungen zur Förderung des sozialen Wandels und der politischen Teilhabe. Dazu gehört die Entwicklung digitaler Werkzeuge und Plattformen, die Desinformation bekämpfen und Menschen dazu ermutigen, sich online an zivilgesellschaftlichen Aktivitäten zu beteiligen. Zudem tragen diese Technologien dazu bei, die Sichtbarkeit von Stimmen zu erhöhen, die in der öffentlichen Debatte oft überhört werden.

Diese Signale verdeutlichen das Potenzial einer diversitätsbewussten Gesellschaft, verschiedene gesellschaftliche Bereiche zu gestalten. Sie spiegeln sich in veränderten Konsumpräferenzen, unternehmerischer Ethik, Designstandards, feministischen Bewegungen und technologischen Entwicklungen wider. Unternehmen, politische Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger sowie Aktivistinnen und Aktivisten müssen auf Anzeichen des gesellschaftlichen Wandels achten, um sicherzustellen, dass sie neue gesellschaftliche Erwartungen und Werte vorhersehen und sich darauf einstellen können.

REFERENZEN UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

— Trendmanager-Tool von Trendone, letzter Zugriff am 21.02.2024, <https://www.trendmanager.com/>



4

Wechselwirkungs- analyse



Der Begriff Wechselwirkungsanalyse (Cross-Impact-Analyse) bezieht sich auf ein Instrument zur strategischen Vorausschau, das versucht, Wechselwirkungen und Korrelationen zwischen verschiedenen analysierten Elementen darzustellen und ihre gegenseitigen Einflüsse zu berücksichtigen. Die meisten Ereignisse und Entwicklungen stehen in irgendeiner Weise mit anderen Entwicklungen in Beziehung (Korrelation). Eine Analyse auf der ersten Ebene betrachtet diese komplexen Zusammenhänge jedoch nicht und berücksichtigt die Verknüpfungen zwischen einzelnen Elementen und Ereignissen nicht ausreichend. Die Wechselwirkungsanalyse zielt darauf ab, diese Lücke zu schliessen.

Im Rahmen dieses Projekts wird die Wechselwirkungsanalyse als Instrument vorgestellt, um den Grad der Verflechtung und Interaktion der Technologietrends mit den Megatrends zu veranschaulichen.

Zur Durchführung der Wechselwirkungsanalyse werden die Technologietrends in der linken Spalte einer Tabelle (y-Achse) aufgelistet, während die Technologietrends oder Megatrends in der obersten Zeile der Tabelle (x-Achse) eingetragen werden. In jeder Zelle der Tabelle werden die Verflechtung und der Grad der Wechselwirkung zwischen den entsprechenden Trends bewertet. Diese Bewertung erfolgt durch eine Experteneinschätzung unter Zuhilfenahme der Forschung zu Technologietrends und Megatrends aus den Abschnitten 2 bzw. 3. Die Einträge zur vorläufigen Bewertung der Interaktionen zwischen den Trends können hierbei besonders hilfreich sein. Jeder Zelle wird dann eine Zahl zwischen 0 und 3 zugewiesen, die eine geringe bis hohe Verflechtung angibt. Für jeden Trend werden die Summen der miteinander verknüpften Werte als Indikator für die Gesamtbedeutung dieses Trends angegeben. Einige vorläufige Ergebnisse sind als Beispiel in Tabelle 1 aufgeführt.

	ZUNEHMENDE RESSOURCENKNAPPHEIT	VERÄNDERUNG DER ARBEITSWELT	SICHERHEITSVSTÄNDNIS IM WANDEL	KLIMAWANDEL UND UMWELTZERSTÖRUNG	FORTSCHRITZENDE URBANISIERUNG	DIVERSIFIZIERUNG VON BILDUNG UND LERNEN	ZUNEHMENDE UNGLEICHHEITEN	WACHSENDE EINFLUSS VON OST UND SÜD	WACHSENDE KONSUM	ZUNEHMENDE DEMOGRAPHISCHE UNGLEICHGEWICHTE	ZUNEHMENDER EINFLUSS NEUER REGIERUNGSSYSTEME	ZUNEHMENDE BEDEUTUNG DER MIGRATION	GESUNDHEIT IM WANDEL	DIVERSITÄTBEWUSSTE GESELLSCHAFT	SUMMEN
DATA SCIENCE UND KI	1	3	3	1	1	3	3	1	2	1	1	1	2	1	24
IMMERSIVE TECHNOLOGIEN	0	2	2	0	1	3	1	0	2	1	1	0	2	2	17
QUANTENTECHNOLOGIEN	2	0	3	2	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	11
SENSORTECHNOLOGIEN	2	2	3	3	2	1	1	1	2	1	0	1	2	1	22
NEUE WERKSTOFFE UND DIGITALE PRODUKTION	1	1	2	3	2	1	0	1	0	0	0	1	1	0	13
ERNEUERBARE ENERGIE UND RESILIENZ	2	2	2	2	1	1	1	1	3	0	0	0	1	0	16
HUMAN-ENHANCEMENT-TECHNOLOGIEN	3	1	2	3	2	0	1	1	3	2	0	2	1	0	21
CYBER-TECHNOLOGIEN	1	3	3	0	0	2	3	1	2	2	1	0	3	2	23
DIGITALE KOMMUNIKATION	1	2	3	1	2	1	0	2	0	0	3	1	1	1	18
LOW-POWER WIDE-AREA	0	2	2	0	2	2	0	0	2	0	0	0	1	1	12
ROBOTIK UND AUTONOME SYSTEME	2	3	3	2	2	1	2	1	1	0	1	0	2	0	20
SUMMEN	15	21	28	17	15	15	12	10	18	7	7	6	16	9	

Tabelle 1: Als Beispiel für eine Wechselwirkungsanalyse von Technologietrends und Megatrends werden hier vorläufige Richtwerte präsentiert. Die Skala zur Bewertung des Vernetzungsgrades ist wie folgt definiert: 0 – Kaum vorhanden, 1 – Gering, 2 – Mittel, 3 – Hoch.



5

Szenario-Spiel

5.1

MOTIVATION



Die Arbeit im Bereich der strategischen Vorausschau steht häufig vor der Herausforderung, dass Mitglieder einer Organisation oder Entscheidungsträger nicht in ausreichendem Masse einbezogen werden. Obgleich die Entwicklung einer strategischen Vorausschau eine analytische Auseinandersetzung mit Trends voraussetzt, ist es von entscheidender Bedeutung, alternative Zukunftsbilder und unterschiedliche Szenarien zu betrachten. Dies geschieht am wirkungsvollsten in Gruppendiskussionen und interaktiven Formaten.

Gruppendiskussionen ermöglichen nicht nur die Einbeziehung vielfältiger Perspektiven, sondern fördern auch eine aktive Auseinandersetzung mit Trends, Szenarien und verschiedenen Zukünften. Nach dem Paradigma «Verstehen statt Konsumieren» haben wir daher ein interaktives Workshop-Format entwickelt, das sich an Führungskräfte, Expertinnen und Experten für strategische Vorausschau sowie an alle weiteren relevanten Interessengruppen und Fachleute richtet, die sich mit disruptiven Technologien und ihren zukünftigen Auswirkungen befassen.

Dieses Workshop-Konzept wird als «Szenario-Spiel» bezeichnet. Übergeordnetes Ziel des Szenario-Spiels ist es, auf Basis der Informationen zu Technologietrends und Megatrends, die im vorangegangenen Projektschritt erarbeitet wurden, gemeinsam Zukunftsbilder zu entwickeln. Darüber hinaus soll das Szenario-Spiel den Teilnehmenden die Möglichkeit geben, sich mit verschiedenen Zukünften auseinanderzusetzen und ihre Annahmen über die Zukunft zu hinterfragen.

Das Szenario-Spiel verfolgt einen zeiteffizienten Ansatz, der eine häufigere Anwendung ermöglicht. Durch das kompakte Format wird eine schnellere und zielgerichtetere Entwicklung von Szenarien erleichtert. Der interaktive Charakter steigert das Engagement der Teilnehmenden und somit deren Leistung und Lernerfahrung. Der kollaborative Aspekt trägt dazu bei, dass die entwickelten Szenarien von den beteiligten Organisationsmitgliedern stärker akzeptiert werden, und unterstützt gleichzeitig die Teambildung. Natürlich kann dieses Format weder die analytische Strenge eines umfassenden Prozesses der Szenarioplanung noch die Wirkung mehrerer organisatorischer Interventionen ersetzen. Dennoch sind wir überzeugt, ein Format geschaffen zu haben, das entweder als Ausgangspunkt für die strategische Vorausschau dient oder dazu beiträgt, Diskussionen über die Zukunft auf eine neue Ebene zu heben.

PRINZIPIEN



Abbildung 5: Die «vier archetypischen Szenarien».

Das Szenario-Spiel basiert auf zwei Prinzipien.

1. Die Zukunft kann nicht vorhergesagt werden, aber sie kann auf aktuellen Trends basieren. Mögliche Zukunftsszenarien lassen sich beschreiben, was im abgebildeten Zukunftskegel (Future Cone) veranschaulicht wird.

2. Szenario-Übungen orientieren sich häufig an vier archetypischen Szenarien, was für das Szenario-Spiel von grundlegender Bedeutung ist.

Der Zukunftskegel (siehe Abbildung 4) stellt eine grafische Darstellung der verschiedenen Arten von Szenarien dar, auf die man in der strategischen Vorausschau treffen kann. Diese Arten können wie folgt unterteilt werden:

- Voraussichtliches Szenario: Standard-Extrapolation von heute und das «wahrscheinlichste» Szenario, das eintritt.
- Wahrscheinliches Szenario: Die aktuellen Trends zeigen, dass ein solches Szenario in Zukunft «wahrscheinlich» ist.
- Plausibles Szenario: Nach derzeitigem Kenntnisstand «könnte ein solches Szenario eintreten».
- Mögliches Szenario: Nach derzeitigem Kenntnisstand «könnte ein solches Szenario möglicherweise eintreten».
- Wünschenswertes Szenario: Es stellt eine gewünschte Zukunft dar, die man sich «wünscht».

Forschungen haben gezeigt, dass Szenario-Übungen typischerweise Szenario-Sets hervorbringen, die einer bestimmten Grundstruktur folgen. Diese werden als die vier Archetypen bezeichnet [Dator, 2009] (siehe Abbildung 5). Bei den vier Archetypen handelt es sich um eine Klassifizierung von Zukunftsszenarien, bei der vier verschiedene Arten von Szenarien vorgestellt werden, die in der Regel hilfreich sind, um über die Zukunft nachzudenken. Die vier archetypischen Szenarien sind wie folgt definiert [Dator, 2009]:

- **Anhaltendes Wachstum** ist eine Zukunft, in der die gegenwärtige Entwicklung und auch die gegenwärtigen Probleme fortbestehen und verstärkt werden, d. h. es ist eine Erweiterung der Gegenwart. Diese Zukunft ähnelt sehr dem «Business as usual», unterscheidet sich jedoch insofern, als dass «Business as usual» die Fortsetzung der Gegenwart, nicht aber die Fortsetzung ihres Entwicklungspfades beschreibt.
- **Zusammenbruch** beschreibt eine Zukunft, in der das System seine Grenze erreicht und kollabiert.
- **Disziplin** ist eine Zukunft des Gleichgewichts. Eine nachhaltigkeitsorientierte Zivilisation, die sich im Gleichgewicht befindet.
- **Transformation** ist eine Zukunft, die sich radikal von der Gegenwart unterscheidet, ausgelöst durch ein transformierendes Ereignis oder Phänomen, sei es spiritueller oder technologischer Natur. In diesem Szenario wird das grundlegende Verständnis des Menschseins neu definiert.

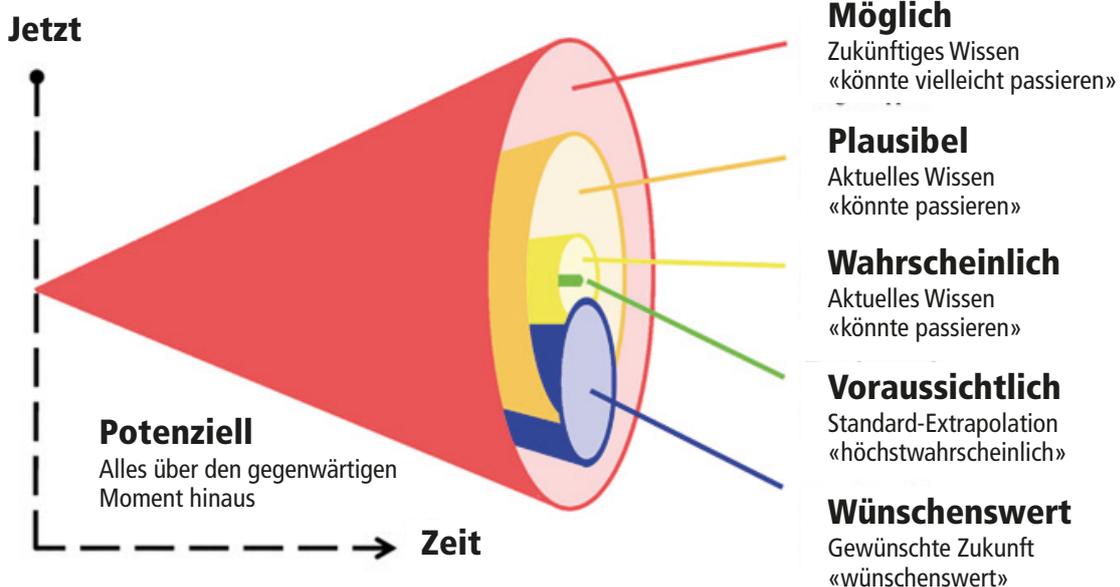


Abbildung 4: Der Zukunftskegel [van Dorsser et al., 2018]

BESCHREIBUNG UND ANLEITUNG FÜR DAS SPIEL

Wir geben Anregungen zur Anwendung des Szenario-Spiels, möchten aber auch betonen, dass der Ansatz auf vielfältige Weise, für unterschiedliche Zwecke und in verschiedenen Situationen umgesetzt werden kann. Unsere hier vorgestellten Vorschläge basieren auf mehreren durchgeführten Szenario-Spiel-Workshops und spiegeln unterschiedliche Kontexte, Teilnehmerkonstellationen und Zeitrahmen wider. Warum haben wir diesen Ansatz das «Szenario-Spiel» genannt? Es geht nicht darum, zu gewinnen. Niemand kann die Zukunft «gewinnen». Vielmehr geht es eher um Zusammenarbeit und das spielerische Erkunden verschiedener Zukünfte durch die strukturierte Nutzung verschiedener Trends.

Wir stellen die folgenden Ressourcen für das Szenario-Spiel zur Verfügung:

- Trendkarten
- Zwei Szenario-Arbeitsvorlagen
- Benutzeranleitung
- Video-Tutorial

Das Szenario-Spiel kann entweder online oder offline gespielt werden. Alle Materialien sind druckfertig und können unter <https://anticipatech.com> abgerufen werden.

Das Szenario-Spiel besteht aus zwei Schritten: einem ersten, eher explorativen Schritt und einem zweiten, eher strukturierten Schritt. Im ersten, explorativen Schritt werden die Teilnehmenden in Teams eingeteilt und erhalten die erste Arbeitsvorlage (Abbildung 6) sowie die Trendkarten. Die Teams haben nun folgende Aufgaben, die auch auf der Arbeitsvorlage vermerkt sind:

1. Definieren Sie die Branche oder den Bereich, auf den Sie sich konzentrieren möchten.
2. Legen Sie den Zeithorizont fest, auf den Sie sich konzentrieren möchten. Dies kann ein Zeitraum von bis zu fünf, zehn oder dreißig Jahren sein oder, je nach Branche oder Interessengebiet, auch darüber hinausgehen.
3. Wählen Sie zwei oder drei Technologietrends und Megatrends aus, die für Ihren gewählten Fokus und Zeithorizont am ehesten relevant sind.
4. Entwickeln Sie ein Szenario, indem Sie die ausgewählten Trends kombinieren, um ein konsistentes Zukunftsbild zu erstellen. Finden Sie einen aussagekräftigen Titel für diese zukünftige Welt (das Szenario) und beschreiben Sie sie in einigen Stichpunkten. Optional kann die Wechselwirkungsanalyse genutzt werden, um die Szenarien zu detaillieren und die Zusammenhänge zwischen den Trends zu bewerten.
5. Berücksichtigen Sie die Auswirkungen auf die gewählte Branche oder den Fokusbereich, z. B. Produkte, Dienstleistungen, Geschäftsabläufe, Strategie oder Risikomanagement.

Scenario Game Canvas 01

A start into strategic foresight

Team-members:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. _____

How to use:

- Note down the names of your team members
- Follow the direction of the hand and work on the canvas by filling it with your teams Post-Its



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra



Technische Hochschule
Hörsingstadt
Bayerisches
Forschungsinstitut

Before we play

1. Define the industry or focus for the game
2. Select the time horizon
 - Short Term
Up to 5 years
 - Medium Term
Up to 10 years
 - Long Term
Up to 30 years
3. Choose 3 **technological trends** and 3 **megatrends** from the cards

Come up with your own scenario

START task 4

Define your Scenario:
What are the circumstances that drive this scenario?
What are the hindrances and challenges to overcome?

Find a Scenario title:

Find Implications of the scenario and selected trends on your industry or focus:
What effects does the scenario have on your industry or focus regarding:

- Products / Product lines
- Services
- Operations
- Strategy • Risk management

5. Now craft a concise narrative or story that summarizes the scenario you've built based on your teams input!

GO TO CANVAS 02

Abbildung 6: Die Arbeitsvorlage für den ersten Schritt des Szenario-Spiels.

Im zweiten, strukturierten Schritt werden die Teilnehmenden mit zwei zentralen Konzepten des Szenario-Spiels vertraut gemacht: dem Zukunftskegel (Future Cone) und den vier Archetypen. Es ist wichtig, dass Sie betonen, dass die Zukunft nicht vorhergesagt werden kann, aber alternative Zukunftsbilder bzw. Szenarien auf Basis aktueller Trends entwickelt werden können. Die Teilnehmenden müssen nun die folgende Aufgabe mithilfe der zweiten Arbeitsvorlage (Abbildung 7) durchführen:

1. Ordnen Sie das auf der ersten Arbeitsvorlage entwickelte Szenario einem der vier Archetypen-Szenarien zu.
2. Bewerten Sie, wie sich das erste entwickelte Szenario in den anderen Archetypen entfalten würde.
3. Berücksichtigen Sie die Auswirkungen für die vier unterschiedlichen Szenarien.
4. Optional können Sie die Wechselwirkungsanalyse anwenden, um weitere Details zu den Szenarien auszuarbeiten.

Scenario Game Canvas 02

A start into strategic foresight

Team-members:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. _____

How to use:

- Note down the names of your team members
- Follow the direction of the hand and work on the canvas by filling it with your teams Post-its



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra



Technische Hochschule
ggü Stadt
Rheinischen
Forschungsinstitut

Connection to the Four Archetype scenarios

6. Allocate the developed scenario from Canvas 01 into one of the Four Archetype scenarios. You will not further work on that Archetype scenario.

7. Make yourself familiar with the three left Archetype scenarios and find implications of them and selected trends on your industry or focus:

START task?

What implications does the **CONTINUED GROWTH** scenario have on your industry or focus?

CONTINUED GROWTH depicts a future where the current trajectory persists, with both improvements and ongoing challenges. It resembles "business as usual" but involves deliberate progress. To navigate this scenario, focus on maintaining the current path while making strategic adjustments for sustainable growth. Be mindful of existing issues and work towards resolving them to ensure a balanced expansion of the present.

COLLAPSE signifies a future where the system fails due to reaching its limits. To navigate this scenario, prioritise sustainable practices, manage resources wisely, and watch for warning signs of impending collapse. Act swiftly to mitigate risks and stabilise the system to prevent total breakdown.

DISCIPLINE portrays a future of balance, where civilisation prioritises sustainability. To implement this scenario, focus on long-term planning, resource management, and promoting harmony between economic, environmental, and social factors. Invest in renewable resources, regulate resource use, and be vigilant against disruptions.

What implications does the **TRANSFORMATION** scenario have on your industry or focus?

TRANSFORMATION envisions a future marked by a radical shift from the present, triggered by a transformative event or phenomenon — be it spiritual or technological — that redefines humanity itself. To navigate this scenario, embrace innovation, adapt to new paradigms, and explore the potential of emerging technologies. Prepare for profound changes in society, culture, and individual identity, and seek opportunities for growth and adaptation amidst transformational upheaval.

What implications does the **DISCIPLINE** scenario have on your industry or focus?

8. Now craft a concise narrative or story that summarizes the scenario you've built based on your teams input!

Abbildung 7: Die Arbeitsvorlage für den ersten Schritt des Szenario-Spiels.

REFERENZEN UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

- Van Dorsser, C et al., «Improving the Link between the Futures Field and Policymaking» [Optimieren der Verbindung zwischen dem Bereich Zukunftsforschung und der Politikgestaltung], *Futures*, 104: 75–84, 2018, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016328717302513>
- Dator, J., «Alternative Futures at the Manoa School» [Alternative Zukunftsperspektiven an der Manoa School], *Journal of Futures Studies*, Band 14, Nr. 2, 2009, <https://jfsdigital.org/articles-and-essays/2009-2/vol-14-no-2-november/articles/futuristsalternative-futures-at-the-manoa-school/>
- Fergnani, A., «4 Archetypes, Shell, 2x2: Top Three Scenario Planning Methods Explained and Compared» [Vier Archetypen, Shell, 2x2-Matrix: Erläuterung und Vergleich der drei wichtigsten Methoden zur Szenarioplanung], Artikel, *Medium*, 2020, <https://medium.com/predict/4-archetypes-shell-2x2-three-scenario-planning-methods-explained-and-compared-d2e41c474a37>



Schlussfolgerung und nächste Schritte

Mit diesem Bericht haben Sie nun ein umfassendes Verständnis der elf zentralen Technologietrends, die im Rahmen des Forschungsprogramms «Technologiefrüh-erkennung» von armasuisse verfolgt werden. In der Erkenntnis, dass technologische Fortschritte nicht isoliert auftreten, haben wir auch 14 weitere Megatrends untersucht. Diese Megatrends werden unweigerlich die unzähligen Anwendungsszenarien prägen, in denen diese verschiedenen Technologien – entweder einzeln oder im Verbund – zum Einsatz kommen.

Diese Kenntnisse ermöglichen es Ihnen, sich voll und ganz auf das «Szenario-Spiel», das Herzstück des Projekts, einzulassen. Ganz gleich, ob Sie 90 Minuten, einen halben oder einen ganzen Tag investieren, die massgeschneiderten Prozesse ermöglichen es Ihnen, eine Vielzahl von Szenarien zu entwickeln. Die Szenarien werden Ihr Verständnis für mögliche zukünftige Ergebnisse und deren Auswirkungen verbessern.

Darüber hinaus fügt sich dieses Projekt nahtlos in andere Initiativen des deftech-Programms ein. Durch die Kombination verschiedener Inhalte und Methoden können Sie Ihr kreatives Potenzial erweitern und visionäre Möglichkeiten erschliessen. Denken Sie jedoch stets daran, dass die tatsächliche Wirkung in der Gegenwart erzielt wird. Alle Erkenntnisse und Bemühungen gipfeln in den Massnahmen, die wir heute ergreifen.

Arbeiten wir deshalb zusammen, um diese Trends zu nutzen, unsere kollektive Vorstellungskraft einzusetzen und eine Zukunft zu gestalten, die beides ist: innovativ und auch praktisch umsetzbar. Die Zukunft ist nicht einfach etwas, das uns widerfährt, sondern etwas, das wir selbst gestalten. Machen wir also etwas Besonderes daraus!



Über diesen Abschnitt

ÜBER DIE TEILNEHMENDEN ORGANISATIONEN

Das Bayerische Foresight-Institut – Technische Hochschule Ingolstadt

Das Bayerische Foresight-Institut ist eine Forschungseinrichtung, die sich auf die technologieorientierte strategische Vorausschau sowie die damit verbundenen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Wechselwirkungen konzentriert.

Die Forschung findet in einem anwendungsorientierten Kontext statt. Forschungsergebnisse fließen in Beratungsprojekte ein, werden in wissenschaftlichen Fachzeitschriften veröffentlicht und in verschiedenen Formaten an Industrie und Gesellschaft weitergegeben. Das Institut fördert den wissenschaftlichen Nachwuchs durch die Betreuung von Promotionsarbeiten. Dank der engen Zusammenarbeit mit verschiedenen Kooperationspartnern liegt der Fokus des Instituts auf drittmittelgeförderten öffentlichen Projekten sowie auf Industrieprojekten.

<https://www.thi.de/forschung/bayerisches-foresight-institut/>

Armasuisse Wissenschaft und Technologie

Armasuisse Wissenschaft und Technologie ist das Technologie-Kompetenzzentrum des Eidgenössischen Departements für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport (VBS). Mit seiner Expertise in den Bereichen Testing, Forschung und Innovation entwickelt es wissenschaftlich fundierte Grundlagen für seine Partner.

Das armasuisse Sciences and Technologies Foresight Programm deftech (defence future technologies) inspiriert, informiert und unterstützt die Schweizer Armee sowie ihre verschiedenen Interessengruppen hinsichtlich der Chancen und Risiken, die der Einsatz von Technologie mit sich bringt.

Durch seine Produkte und Aktivitäten trägt es zu einem kooperativen und partizipativen Prozess bei, der die Verteidigungsfähigkeit der Schweiz stärkt.

<https://www.ar.admin.ch/de/armasuisse-wissenschaft-und-technologie-wt>

ÜBER DIESE VERÖFFENTLICHUNG

Diese Studie wurde vom Bayerischen Foresight-Institut an der Technischen Hochschule Ingolstadt für das Technologiefrüherkennungsprogramm von armasuisse Wissenschaft und Technologie durchgeführt.

Auftraggeber der Studie: Dr. Quentin Ladetto.

Durchgeführt von: Dr.-Ing. Konstantinos Konstantinidis, Prof. Dr. Jan Oliver Schwarz, Dr. Quentin Ladetto, Theresa Schropp und Philipp Schweiger.

— Danksagung

Die Autoren möchten sich bei den folgenden Personen für ihre Beiträge zur Erstellung dieses Dokuments bedanken: Corina Beerli, G r me Bovet, Martin Burkhart, Aurelie Debra, Olivier Desjeux, Peter Erni, Emmanuel Gardinetti, Regula G nner, Etienne Guerry, David Humair, Hanspeter Kaufmann, Alain Mermoud, Ludovic Monnerat, Bernard Revaz, Ga lle Rey, Julien Sauvain, Adrian Schneider, Christof Sch pfbach, Bernhard Tellenbach, Kilian Wasmer und Peter Wellig.

ÜBER DIE AUTOREN



Konstantinos Konstantinidis war an zahlreichen zukunftsorientierten Studien beteiligt, darunter am Serious Gaming in Zusammenarbeit mit der Europäischen Weltraumorganisation (ESA), dem Roadmapping für Raumfahrttechnologien mit dem Foresight-Institut sowie an der computergestützten Szenarienanalyse mit der Technischen Universität München. Zudem ist er Verfasser fundierter Essays zur Unterstützung schwarmbasierter Prognosen für metaculus.com. Er war als interner Forschungsstipendiat beim ESA Advanced Concepts Team (ACT) tätig. Er hat an der Universität der Bundeswehr München im Fach Luft- und Raumfahrttechnik promoviert und verfügt über umfangreiche Erfahrungen im Bereich der Luft- und Raumfahrt.



Quentin Ladetto ist der Gründer und Leiter des Technologiefrüherkennungsprogramms von arma-suisse Wissenschaft und Technologie.

<https://deftech.ch>.

Er besitzt einen Dokortitel in Geomatik von der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne (EPFL), einen Titel als Executive MBA im Fach Finanzen von der HEC Lausanne und einen Abschluss im Fach Technologiemanagement von der IMD Business School. Er ist Mitbegründer von atelierdes-futurs.org und Gründungsmitglied der Futurs Association.



Philipp Schweiger studiert derzeit im Masterstudengang «Global Foresight and Technology Management» an der Technischen Hochschule Ingolstadt und ist studentischer Mitarbeiter am Bayerischen Foresight-Institut, wo er sich intensiv der Trendforschung und der Prototypisierung von Workshop-Materialien widmet.



Jan Oliver Schwarz ist Professor für Strategic Foresight and Trend Analysis und Leiter des Bayerischen Foresight-Instituts an der Technischen Hochschule Ingolstadt, Deutschland. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in den Bereichen strategische Vorausschau, insbesondere strategische Vorausschauprozesse, Trends und schwache Signale, Szenarioplanung, Business Wargaming, kulturelle Produkte (z. B. Science-Fiction) und Design Thinking.



Theresa Schropp ist Doktorandin an der Universität der Bundeswehr München und an der Technischen Hochschule Ingolstadt, Deutschland. Ihr Forschungsschwerpunkt liegt auf dem Thema Unsicherheit im Kontext der Entscheidungsfindung und der damit verbundenen Relevanz der strategischen Vorausschau.

In einer Welt des rasanten, chaotischen Wandels, in der die Technologie eine wichtige Rolle spielt, sahen wir die Notwendigkeit, ein Foresight-Ökosystem – also ein Ökosystem für die strategische Vorausschau – zu schaffen. Es soll dazu dienen, Debatten und den Austausch zwischen unseren verschiedenen Interessengruppen zu strukturieren und zu organisieren. In diesem gemeinsamen Projekt von armasuisse Wissenschaft und Technologie und dem Bayerischen Foresight-Institut bieten wir nicht nur eine Sammlung relevanter Technologien und Megatrends, sondern auch ein Interaktionsformat, das «Szenario-Spiel», an. Es ermöglicht es uns, mit diesen Trends zu arbeiten, die Zukunft zu erforschen, um letztendlich eine strategische Vorausschau zu entwickeln.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

armasuisse



deftech



Technische Hochschule
Ingolstadt

Bayerisches
Foresight-Institut



9 783907 717011